



CARACTERIZAÇÃO E MODELAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE UMA CONSOCIAÇÃO FORRAGEIRA DE SEQUEIRO

Maria da Conceição Faria de Sousa Maldonado

Dissertação para obtenção do grau de mestre em
Engenharia Agronómica

Orientadores: Professora Doutora Paula Cristina Santana Paredes
Professora Doutora Maria Odete Pereira Torres

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Maria Teresa Gomes Afonso do Paço, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutora Paula Cristina Santana Paredes, Bolseira de Pós-Doutoramento, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, orientadora.

Lisboa, 2018

**Escrito conforme acordo ortográfico de português de Portugal em vigor pré
ratificação de 2008**

Agradecimentos

Às minhas orientadoras. Sem a confiança que depositaram em mim, na sugestão do tema, a realização deste trabalho não seria possível. Professora Paula Paredes: Vou ter sempre que agradecer todo o carinho, amizade, boa disposição, e paciência em toda a execução do trabalho. Professora Odete Torres: Por toda a amizade desde o início do meu percurso no ISA, pela motivação, ensinamentos e por me ter incutido a paixão pelas pastagens e forragens. Por me ter feito acreditar que esta é a profissão certa para quem caminha por um mundo melhor.

Aos Eng. José Maldonado, meu Pai, e Filipe Ramalho, pela pronta disponibilidade aquando da sugestão deste trabalho. Pelo total apoio na realização do trabalho de campo e fornecimento de dados, material e maquinaria, sempre que solicitei.

Ao Francisco Caupers pela imprescindível ajuda no trabalho de campo.

À Sra D. Lurdes Marques, pelo auxílio no trabalho em laboratório, sempre com simpatia e boa disposição.

Ao Eng^o. David Romão por ter feito a ponte com a Fertiprado e pelo entusiasmo e disponibilidade demonstrados nos nossos contactos.

À empresa Fertiprado. Em primeiro lugar por trazer há vários anos, inovação e desenvolvimento para a nossa região. Ao João Paulo Crespo pela atenção e pronta disponibilidade a qualquer ajuda necessária ao meu trabalho. Aos técnicos que me acolheram com tanta simpatia: Engenheiros Ana Margarida Bagorro, Bruno Godinho e Doutora Ana Barradas por todos os esclarecimentos, dúvidas e cedência da composição da consociação em estudo.

Ao Professor Fernando Girão e ao Eng. Paulo Marques, pela gentileza de efectuarem a análise das amostras de solo para o trabalho.

Ao Instituto Superior de Agronomia, pela possibilidade que me proporcionou de adquirir conhecimentos nesta área, e pelo contacto com pessoas que tanto me enriqueceram, as quais nunca esquecerei.

Resumo

Uma consociação forrageira de sequeiro TRITIMIX I (triticale, x *Triticosecale Wittmack*; azevém, *Lolium multiflorum* Lam; ervilhaca, *Vicia villosa* Roth; trevo da Pérsia, *Trifolium resupinatum* L. e trevo vesiculoso, *Trifolium vesiculosum* Savi), semeada numa parcela localizada em Vaiamonte, foi acompanhada ao longo do seu ciclo cultural. Os dados recolhidos em 2016/2017 incluíram: altura das componentes da consociação, fracção de cobertura do solo pela consociação, amostras de material vegetal, amostras de solo para sua caracterização assim como para avaliação do teor de água no solo (SWC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). Os dados das amostras de material vegetal permitiram verificar que ao longo do ciclo as distintas componentes da consociação apresentavam desenvolvimento distinto com predominância das gramíneas em todas as fases do ciclo. Os dados de SWC foram usados para parametrizar e testar o modelo de balanço hídrico SIMDualKc. Este modelo utiliza a aproximação dos coeficientes culturais duais permitindo a partição da evapotranspiração das culturas (ET) nas suas componentes evaporação do solo (E_s) e de transpiração real da cultura ($T_{c \text{ act}}$). O modelo mostrou boa precisão para a estima dos valores de SWC, com baixos erros de estima e elevada eficiência de modelação. Verificou-se que, no ano 2016/2017, a $T_{c \text{ act}}$ foi a principal componente da ET sazonal e que a $E_s/ET = 27\%$, a qual se justifica pelo elevado número de eventos de humedecimento durante a fase de desenvolvimento da consociação. O modelo SIMDualKc foi combinado com o modelo “água-produção” de Stewart para estimar a produção da consociação, mostrando um desvio inferior a 10% da produção observada. Adicionalmente estudaram-se cenários alternativos de datas de sementeira como possível medida de mitigação em anos de seca. Os resultados obtidos permitem afirmar que os modelos utilizados são adequados para apoio ao aconselhamento aos agricultores existindo, no entanto, a necessidade de mais estudos que comprovem os resultados obtidos.

Palavras chave: Balanço hídrico do solo, Coeficientes culturais duais, Modelo SIMDualKc, Transpiração da consociação, Produção de biomassa.

Abstract

A rainfed forage mixture, TRITIMIX I (triticale, x *Triticosecale* Wittmack; ryegrass, *Lolium multiflorum* Lam.; vetch, *Vicia villosa* Roth.; persian clover, *Trifolium resupinatum* L. and arrowleaf clover, *Trifolium vesiculosum* Savi.), sown in a farm located in Vaiamonte, was monitored throughout its crop cycle. Field data collected along the 2016-2017 season included: mixture components height, soil fraction covered by the mixture, plant material samples, soil samples for its characterization as well for soil water content evaluation (SWC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). The plant material samples data, allowed to verify that throughout the crop cycle, the distinct components of the mixture showed different development with a triticale and ryegrass predominance throughout all season. The SWC data were used to parameterize and test the SIMDualKc water balance model. This model applies the dual crop coefficient approach allowing the partitioning of evapotranspiration (ET) into its components soil evaporation (E_s) and actual crop transpiration ($T_{c \text{ act}}$). The model showed good accuracy for SWC estimation, with low estimation errors and high modeling efficiency. Results relative to the 2016-2017 season showed that $T_{c \text{ act}}$ was the main component of ET and that $E_s / ET = 27\%$, which is justified by a high number of wetting events during the forage crop development stage. The SIMDualKc model was combined with the Stewart's water-yield model to estimate biomass production, showing a deviation of less than 10% compared to the observed production. In addition, alternative sowing dates' scenarios were studied as a possible drought mitigation measure. Obtained results allowed to conclude that the models used in the study are appropriate to support farmers decision making, however, further research is required to support the results obtained in the present study.

Key words: Soil water balance, Dual crop coefficients, SIMDualKc model, Crop transpiration, Biomass production.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | v |
| Abstract | vi |
| Índice de figuras | ix |
| Índice de quadros | x |
| Lista de abreviaturas e símbolos | xi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. A importância das pastagens e forragens de sequeiro em Portugal | 3 |
| 2.1.1. Pastagens e forragens de sequeiro no Mediterrâneo | 3 |
| 2.1.2. Pastagens e forragens de sequeiro na região do Alentejo | 6 |
| 2.1.3. Importância das pastagens e forragens na alimentação animal | 9 |
| 2.2. Impactos das condições climáticas na produção e qualidade de biomassa em sequeiro | 12 |
| 2.2.1. Acumulação térmica e ciclo cultural | 15 |
| 2.2.2. Estima dos impactos dos défices hídricos na produção de biomassa | 16 |
| 2.3. Gestão da alimentação animal | 18 |
| 2.3.1. Produção e gestão de forragens | 18 |
| 2.3.2. Importância das consociações em pastagens e forragens | 19 |
| 2.4. Evapotranspiração das culturas e necessidades de água | 23 |
| 2.4.1. Métodos para medição e estima da evapotranspiração das culturas | 24 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 3.1. Caracterização da área de estudo | 27 |
| 3.1.1. Descrição da exploração e da parcela em estudo | 27 |
| 3.1.2. Caracterização climática | 28 |
| 3.1.3. Caracterização edáfica | 32 |
| 3.1.4. Caracterização da consociação forrageira e práticas culturais | 35 |
| 3.1.5. Determinação do teor de água no solo | 39 |
| 3.2. Modelação da evapotranspiração da consociação forrageira | 41 |
| 3.2.1. O modelo de balanço hídrico SIMDualKc | 41 |
| 3.2.2. Procedimentos de parametrização e teste do modelo | 46 |
| 3.2.3. Indicadores estatísticos de avaliação do modelo | 48 |
| 3.3. Estimativa da produção | 51 |

| | |
|---|-----------|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 52 |
| 4.1. Caracterização da cultura forrageira | 52 |
| 4.1.1. Composição florística e produção média nas diferentes fases da cobertura vegetal | 52 |
| 4.1.2. Estimativa das fases do ciclo da consociação baseado na acumulação térmica (GDD) | 56 |
| 4.2. Parametrização e teste do modelo SIMDualKc | 57 |
| 4.3. Dinâmica dos coeficientes culturais de base e de evaporação do solo | 61 |
| 4.4. Uso da água pela consociação forrageira | 63 |
| 4.5. Modelação da produção de biomassa | 66 |
| 4.6. Modelação do impacto da data de sementeira na produção e no uso da água | 67 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 69 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 70 |
| 7. ANEXOS | i |
| Anexo I – Descrição detalhada dos solos da parcela em estudo, segundo Carvalho Cardoso (1965) | i |
| Anexo II – Datas das recolhas de amostras de solo ao longo do ciclo cultural | ii |
| Anexo III – Fases do ciclo de acumulação térmica e simulação das diferentes datas de sementeira | iii |
| Anexo IV – Dados observados e simulados pelo modelo para o ano 2016/2017 | iii |
| Anexo V – Evolução da consociação forrageira em imagens | viii |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Curva de crescimento da erva em sequeiro | 14 |
| Figura 2 – Representação esquemática da alimentação animal em pastagens semeadas de sequeiro | 19 |
| Figura 3 – Representação do coeficientes cultural basal e de evaporação do solo | 25 |
| Figura 4 - Parcela em estudo no Monte de Mateus | 27 |
| Figura 5 – Distribuição dos colectores no perímetro da zona de ensaio | 28 |
| Figura 6 – Diagrama comparativo entre as temperaturas médias mensais de 36 anos e os anos agrícolas em estudo | 29 |
| Figura 7 - Diagrama comparativo entre a precipitação acumulada mensal de 36 anos e os anos agrícolas em estudo | 30 |
| Figura 8 – Caracterização climática baseada na ETo e na precipitação para o ano de 2015/2016 | 31 |
| Figura 9 - Caracterização climática baseada na ETo e na precipitação para o ano de 2016/2017 | 31 |
| Figura 10 – Identificação da parcela em estudo na carta de solos de Portugal | 33 |
| Figura 11 – Abertura de perfil no solo e recolha de amostras não perturbadas | 34 |
| Figura 12 – Alguns passos da 2ª amostragem de biomassa vegetal | 38 |
| Figura 13 – Alguns passos da execução do método gravimétrico | 39 |
| Figura 14 – Estrutura do modelo SIMDualKc | 42 |
| Figura 15 – Fluxograma do modelo SIMDualKc | 46 |
| Figura 16 – Gráfico sumário dos resultados obtidos na 4ª amostragem (corte) | 56 |
| Figura 17 – SWC simulada e observada para 2016/2017 | 58 |
| Figura 18 – SWC simulada para 2015/2016 | 60 |
| Figura 19 – Curvas dos coeficientes culturais e de evaporação do solo | 61 |

Índice de quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Efectivos animais na região do Alentejo | 9 |
| Quadro 2 – Procura climática em cada estágio de crescimento da cultura | 32 |
| Quadro 3 – Textura e propriedades hidráulicas do solo | 35 |
| Quadro 4 - Datas das amostragens na consociação forrageira ao longo do ciclo | 38 |
| Quadro 5 – Dados de entrada da cultura observados e medidos durante o ensaio | 47 |
| Quadro 6 – Resultados da 1ª amostragem | 52 |
| Quadro 7 – Resultados da 2ª amostragem | 52 |
| Quadro 8 – Resultados da 3ª amostragem | 53 |
| Quadro 9 – Resumo dos resultados das 3 primeiras amostragens | 54 |
| Quadro 10 – Resultados da 4ª amostragem | 54 |
| Quadro 11 – Quantidades totais e percentuais de biomassa ao corte | 55 |
| Quadro 12 – Fases do ciclo e acumulação térmica no ano de 2016/2017 | 56 |
| Quadro 13 - Parâmetros da cultura, solo, percolação profunda e escoamento superficial | 57 |
| Quadro 14 – Indicadores estatísticos | 59 |
| Quadro 15 – Balanço hídrico simulado para os dois anos em estudo | 63 |
| Quadro 16 – Simulação da produção em cenários alternativos | 67 |

Lista de abreviaturas e símbolos

- a_D – Parâmetro da equação da percolação profunda (mm)
ASW - Água disponível no solo (mm)
 b_0 – Coeficiente de regressão de uma regressão linear forçada à origem (adimensional)
 b_D – Parâmetro da equação da percolação profunda (adimensional)
CN – Cabeças normais
CR – Ascensão capilar de água (mm)
 D_{ap} – Densidade aparente (g cm^{-3})
 D_e – Depleção de água na camada superficial do solo (mm)
DP – Percolação profunda (mm)
 D_r – Depleção de água disponível na zona radicular (mm)
EF – Eficiência da modelação (adimensional)
 E_s – Evaporação do solo (mm)
 ET_c – Evapotranspiração cultural máxima ou potencial (mm)
 $ET_{c \text{ act}}$ – Evapotranspiração cultural actual (mm)
 ET_o – Evapotranspiração de referência (mm)
 f_c – Fracção do solo coberto pela vegetação (adimensional)
 f_{ew} – Fracção do solo humedecido e exposto à radiação solar (adimensional)
 h – Altura média da cultura (m)
 ha – Hectare
IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera
 K_c – Coeficiente cultural médio (adimensional)
 $K_{c \text{ act}}$ – Coeficiente cultural médio actual (adimensional)
 K_{cb} – Coeficiente cultural de base (adimensional)
 $K_{cb \text{ act}}$ – Coeficiente cultural de base actual (adimensional)
 $K_{cb \text{ end}}$ – Coeficiente cultural de base no período final (adimensional)
 $K_{cb \text{ ini}}$ – Coeficiente cultural de base no período inicial (adimensional)
 $K_{cb \text{ mid}}$ – Coeficiente cultural de base no período intermédio (adimensional)
 K_e – Coeficiente de evaporação do solo (adimensional)
 K_r – Coeficiente de redução da evaporação do solo (adimensional)
 K_s – Coeficiente de stress hídrico (adimensional)
 K_y – Factor de resposta de água-produção (adimensional)
LAI – Índice de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2}$)
MS – Massa seca (g)
MV – Massa verde (g)
NC – Valor do método número curva ou de escoamento (adimensional)

NRMSE – Erro médio quadrático normalizado (%)
 O_i – Valores observados ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 p – Fracção de esgotamento de água no solo em conforto hídrico (adimensional)
 P – Precipitação (mm)
 P_i – Valores simulados pelo modelo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 PBIAS – Viés percentual (%)
 R^2 – Coeficiente de determinação da regressão por mínimos quadrados ordinários (adimensional)
 RAW – Água no solo facilmente utilizável (mm)
 REW – Água facilmente evaporável (mm)
 RMSE – Raíz quadrada do erro médio quadrático (mm)
 RH – Humidade relativa (%)
 RO – Escoamento superficial (mm)
 SAU – Superfície agrícola utilizada
 SWC – Teor de água no solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 TAW – Água disponível total (mm)
 T_c – Transpiração máxima da cultura (mm)
 $T_{c \text{ act}}$ – Transpiração cultural actual (mm)
 T_d – Défice de transpiração (mm)
 TEW – Total de água evaporável (mm)
 VPPT – Valor de produção padrão total
 u_2 – Velocidade média do vento (m s^{-1})
 Y_a – Produção actual (kg ha^{-1})
 Y_m – Produção potencial ou máxima (kg ha^{-1})
 Z_e – Espessura da camada evaporativa (superficial) do solo (m)
 Z_r – Profundidade radicular (m)
 θ_{FC} – Teor volumétrico de água no solo à capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 θ_P – Teor volumétrico no limite de stresse hídrico (adimensional)
 θ_{sat} – Teor volumétrico de água no solo à saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 θ_V – Teor de humidade em volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
 θ_{WP} – Teor volumétrico de água no solo ao coeficiente de emurchecimento ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

1. INTRODUÇÃO

O Montado é um ecossistema característico do Alentejo, criado e mantido pelo homem, vocacionado para a produção agro-pecuária e agro-silvo-pastoril (Potes, 2011), enquadrando-se num modelo de conservação denominado por Ecologia da Reconciliação (Reis e Calafate, 2013). Possui escassa cobertura arbórea dominada por apenas duas espécies de *Quercus* - Sobreiros (*Quercus suber*) e azinheiras (*Quercus rotundifolia*) -, uma grande riqueza florística de herbáceas (Efe Serrano, 2006) sob eles, que constituem as pastagens nativas ou pastagens de sequeiro melhoradas (Paço *et al.*, 2009) e matos dispostos em mosaicos (Reis e Calafate, 2013).

Esta região é afectada pelas especificidades climáticas, e pela existência de solos maioritariamente incipientes e delgados, que se por um lado foram responsáveis pela grande diversidade e resiliência das espécies naturais aqui existentes, por outro dificultam a actividade agrícola (Efe Serrano, 2006; Potes, 2011). Vários estudos prevêem que as alterações climáticas venham a agravar estas especificidades próprias da região, nomeadamente uma tendência global para ciclos de sub-períodos com poucas secas severas/extremas, seguidos de outros em que as secas severas/extremas são frequentes (Moreira *et al.*, 2012) e uma maior frequência de eventos climáticos extremos como ondas de calor, que podem alterar o ecossistema e revelar-se um obstáculo para a produtividade, agravando o carácter extensivo da região (Matesanz e Valladares, 2014; Nogueira *et al.*, 2017).

A pecuária desempenha um papel fundamental no Alentejo, principal região pecuária do país e na qual se tem verificado um aumento dos efectivos nos últimos anos (INE, 2014), em que os animais vivem maioritariamente livres e em pastoreio permanente, *i.e.*, em regime de exploração extensiva (Potes, 2011). Assim, e para que se possam aumentar os encabeçamentos de forma sustentável e, ao mesmo tempo, diminuir o mais possível o preço de manutenção do gado, torna-se necessário o cultivo, na própria exploração, de consociações forrageiras biodiversas ricas em leguminosas, o melhoramento das pastagens naturais e a sementeira de pastagens permanentes. As consociações forrageiras são geralmente produzidas para conservação, assumindo uma enorme importância neste sistema, muito dependente da sazonalidade da produção de erva, comportando períodos de crescimento nulo e outros em que a sua qualidade é baixa, havendo a necessidade de complementar a alimentação animal nestes períodos de carência.

Estas consociações, são maioritariamente de sequeiro, estando por isso exclusivamente dependentes da precipitação. Devendo-se deste modo seleccionar misturas com espécies mais resilientes e resistentes aos stresses abióticos dadas as previsões futuras (Crespo, 2011).

Não obstante a reconhecida importância da água no solo para o desenvolvimento das culturas forrageiras a maioria dos estudos tem sido desenvolvido para consociações de regadio (e.g. Greenwood *et al.*, 2009). Assim, o conhecimento das componentes do balanço hídrico e da evapotranspiração de forragens, nomeadamente em condições de sequeiro toma grande importância particularmente com o previsto aumento da variabilidade climática e o aumento das secas (Moreira *et al.*, 2012; Paulo *et al.*, 2012), assim como a estimação das melhores datas de sementeira, de modo a obter sempre uma melhor e maior produção de biomassa, de modo a apoiar a decisão do agricultor.

Assim, os objectivos deste trabalho foram:

1. Analisar a composição e dinâmica da consociação forrageira ao longo do ciclo;
2. Estimar a evapotranspiração da consociação forrageira, com recurso ao modelo SIMDualKc, sendo para isso realizada a parametrização e o teste do modelo para as condições locais, de modo a minimizar os erros de estima associados à simulação das dinâmicas de água no solo em comparação com os dados observados;
3. Estudar as dinâmicas da precipitação e sua influência na evapotranspiração, na transpiração e na composição da consociação;
4. Estudar e avaliar cenários alternativos de data de sementeira na produção de biomassa e no uso de água, para o apoio à tomada de decisão, nomeadamente como medida de mitigação das secas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância das pastagens e forragens de sequeiro em Portugal

2.1.1. Pastagens e forragens de sequeiro no Mediterrâneo

A agricultura de sequeiro na Europa Mediterrânea concentra-se maioritariamente no Sul de Portugal e Espanha, Centro e Sul da Itália e Grécia e é caracterizada como o cultivo sem rega em regiões onde a precipitação anual média não excede os 500 mm, usando-se para isso técnicas de cultivo específicas, variedades locais e ecótipos unicamente dependentes da precipitação sazonal, que estão bem adaptados a estes ambientes onde a humidade nos solos é limitada (Quaranta, 1999).

As características do clima mediterrânico, caracterizado por Verão quente, longo e seco, Inverno suave, cuja distribuição sazonal da precipitação é desigual e irregular com a estação chuvosa que se prolonga de Outubro a Abril, dificultam a agricultura, nomeadamente a de sequeiro, devido à frequência de períodos de desequilíbrio entre disponibilidades e necessidades hídricas interferindo no geral em todas as culturas, especialmente nas herbáceas. Estas condições tornam a região do mediterrâneo muito vulnerável a secas (Efe Serrano, 2006; Potes, 2011; Matesanz e Valladares, 2014; Hertig e Trambly, 2017).

A seca é um desequilíbrio natural mas temporário, de ocorrência imprevisível ou difícil de prever e que resulta na diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos reduzindo assim a capacidade de suporte dos ecossistemas, afectando as actividades socio-económicas e a sociedade (Pereira et al., 2009), levando a mudanças no consumo e produção de energia com fortes impactos na agricultura e segurança alimentar (Grant *et al.*, 2014). Embora haja uma percepção generalizada de que esteja a haver um aumento na ocorrência e gravidade das secas, comum a vários estudos (e.g. Matesanz e Valladares 2014; Piras *et al.*, 2016; Hertig e Trambly, 2017; Nogueira et al., 2017), em termos globais os resultados não suportam a suposição de uma tendência para progressiva agravação da ocorrência de secas, mas sugerem a existência de ciclos de longa duração, ou seja, períodos com poucas secas seguidos de períodos onde as secas severas e extremas são frequentes, sendo que este comportamento cíclico foi observado com mais expressividade para o Sul de Portugal (Moreira, 2012).

Apesar das limitações para a produtividade agrícola, a bacia mediterrânica possui condições óptimas para a produção de pastagens e forragens de elevada qualidade em termos de valor

proteico, energia e digestibilidade (Crespo, 1980; Freire, 2011). Estas terão que ser capazes de se adaptar e responder às alterações climáticas e às secas recorrentes, tornando a reacção e resiliência ao stress hídrico essencial para a vegetação destes ecossistemas que devem ser preservados (Paço *et al.*, 2009; Matesanz e Valladares, 2014; Nogueira *et al.*, 2017).

Em 2014 as pastagens permanentes e prados cobriam no mediterrâneo 1,3 milhões de km², ocupando em Portugal cerca de 18 mil km², correspondentes a 49,9 % da SAU nacional, alojando elevados valores de biodiversidade, sendo as principais fontes de alimento para os ruminantes e outros animais selvagens, além de fornecerem importantes serviços ecossistémicos como o valor da paisagem (INE, 2014; Nogueira *et al.*, 2017).

Estes pastos naturais são geralmente pouco produtivos e de baixa qualidade, proporcionando apenas condições para baixos encabeçamentos. Aqui a produção pecuária baseada em pastoreio pode surgir como uma oportunidade, na medida em que a sua substituição por pastagens semeadas complementadas com culturas forrageiras para conservação, criteriosamente escolhidas e praticadas, dá a possibilidade de se aumentarem os encabeçamentos, e reduzir ou eliminar o consumo de alimentos concentrados, diminuindo assim os custos de produção e a dependência do exterior, melhorando os resultados económicos da exploração e ao mesmo tempo contribuir para a preservação do sector (Crespo, 2011).

O processo de conservação do solo é cada vez mais uma prioridade. O uso contínuo e não sustentável dos solos, faz com que estes sofram uma degradação progressiva a nível global que tem levado à erosão, perda de matéria orgânica, compactação, salinização, desabamento de terras, impermeabilização e desertificação, o que envolve impactos negativos nos ecossistemas (Bucella, 2015).

O melhoramento de pastagens em terras marginais, faz com que se tire partido destas evitando o seu abandono e degradação, valorizando-as para a produção de ruminantes e melhorando-as para a agricultura, funcionando como bons precedentes culturais e privilegiando as rotações reduzindo o uso de fertilizantes e herbicidas (Crespo, 1995; Carneiro e Barradas, 2008). A preservação destes solos pela prática de uma agricultura de conservação vai trazer segurança alimentar, combater a desertificação e as alterações climáticas (Geslain-laneelle, 2015).

As culturas pratenses e forrageiras ricas em leguminosas para além de beneficiarem a fertilidade do solo, melhorarem a sua estrutura e capacidade de retenção de água, vão fornecer azoto às culturas subsequentes, diminuindo o consumo de fertilizantes azotados e reduzindo a lixiviação de nitratos (White *et al.*, 2017) e os efeitos de erosão nestes solos.

Mas talvez a vantagem mais importante em termos ambientais das pastagens como melhoradoras do solo, seja o sequestro de carbono que, além de constituir um recurso importante nos processos de produção de alimentos quando armazenado no solo, contribui para a diminuição do teor de CO₂ atmosférico mitigando as alterações climáticas principalmente relacionadas com a qualidade do ar (Potes, 2011; Geslain-laneelle, 2015).

O CO₂ é o gás que mais contribui para o aquecimento global, desempenhando as pastagens permanentes, um papel fundamental na sua redução. As pastagens biodiversas semeadas, com mobilização de conservação do solo podem fixar cerca de 4 t C ha⁻¹ ano⁻¹, sendo este valor reduzido quando se aplica mobilização tradicional para 3 t C ha⁻¹ ano⁻¹ e diminuindo para 1 t C ha⁻¹ ano⁻¹ quando se trata de pastagens naturais, embora em ecossistemas como o do montado estes valores sejam superiores devido à folhada que fica no solo (Carranca, 2011). No mesmo estudo foi considerado que o sequestro de carbono passou assim a ser um dos principais objectivos a atingir pelos sistemas agrícolas em Portugal e no mundo, estimando-se que a implementação de 200.000 ha de pastagens permanentes no país poderia satisfazer o compromisso de Quioto para Portugal.

A variabilidade climática dos últimos anos, têm tido impactos significativos no clima, sendo a taxa média de aumento da temperatura em Portugal de 0,5 °C por década desde 1970, acompanhada por um aumento da humidade relativa do ar e redução da precipitação na Primavera, Verão e Outono verificando-se regimes de chuvadas torrenciais cada vez mais frequentes nesta estação. Esta variabilidade de precipitação associada a elevada temperatura origina menores disponibilidades de água no solo a qual pode ser coincidente com períodos críticos do ciclo das culturas, que origina quebras na produção (Melo-Abreu *et al.*, 2011; Potes, 2011).

Estes aumentos da temperatura e a redução da precipitação das zonas secas originam a ocorrência de períodos ou ciclos de seca, que quando ocorrem, levam ao aumento da evapotranspiração global e afectam negativamente a biodiversidade, agravam a desertificação e têm impactos preocupantes na agricultura mundial nomeadamente na redução do rendimento das grandes culturas (trigo – *Triticum spp.*, arroz – *Oryza sativa*, milho

– *Zea mays*, soja – *Glycine max*, etc.) que são a base da alimentação de uma população em crescimento contínuo (Potes 2011; Geslain-laneelle, 2015).

Neste contexto, os sistemas pecuários à base de pastagem devem ser incentivados, pois estes não só são relevantes em termos ambientais, como em termos sociais permitindo às populações usufruir de bens públicos como a paisagem, a biodiversidade e satisfazendo a sua crescente preocupação ética sobre a produção de alimentos tornando-as menos vulneráveis aos mercados. O reconhecimento da sua importância verifica-se já nas novas políticas agrícolas evitando que estes sistemas sofram com a sua substituição por outras actividades económicas mais sensíveis aos cenários de alterações climáticas (Bernués *et al.*, 2011).

O desafio para a agricultura do século XXI é portanto produzir mais e melhor, de forma sustentável, privilegiando o aumento da produção reduzindo os seus impactos ambientais e ao mesmo tempo enfrentando os problemas da escassez dos recursos e o impacto das alterações climáticas, aproveitando o espaço rural como um meio propício à sua mitigação, devendo os agricultores encarar o seu combate como uma oportunidade para desenvolver estas regiões de forma mais sustentável, sem prejudicar a competitividade e o desempenho das suas actividades económicas e respeitando os ecossistemas agrícolas equilibrados e que conservam os recursos naturais e a biodiversidade (Potes, 2011; Bulhão Martins, 2012; Pereira 2017). Felizmente estas preocupações ambientais já se reflectem na PAC pós 2013, atribuindo mais de ¼ da sua despesa à política ambiental, estando a agricultura de conservação e a gestão de pastagens permanentes biodiversas contempladas nestas medidas (Bulhão Martins, 2012).

2.1.2. Pastagens e forragens de sequeiro na região do Alentejo

A região do Alentejo ocupa cerca de 1/3 do continente de Portugal, com uma superfície agrícola utilizada (SAU) de 2 146 508 ha, correspondendo a 50,9 % da SAU nacional (INE, 2014). Nesta região, os solos são o elemento mais diversificado, encontrando-se aqui quase todas as ordens e sub-ordens presentes no país. No entanto, cerca de 70 % destes solos são caracterizados como “maus ou pobres”, sendo incipientes, delgados e ácidos e cuja utilização se adequa mais à produção de pastagens permanentes e forragens (Efe Serrano, 2006).

O clima do Alentejo é mediterrânico e varia de mais quente e seco no interior, que segundo Efe Serrano (2006), conta com cerca de 5 a 6 meses de seca, tornando-se mais húmido na aproximação ao litoral com consequente redução dos meses de seca (3 a 4 meses). Os

períodos que conjugam temperaturas e humidades de solo ideais à produção agrícola são irregulares e curtos e situam-se apenas no Outono e na Primavera, condicionando assim a produção herbácea e os seus ciclos anuais, uma vez que no Outono é necessário um bom equilíbrio entre disponibilidades hídricas e térmicas para que as sementes germinem, e na Primavera aquando do fim do ciclo fisiológico, para que haja uma normal formação de sementes no caso das pastagens ou boa finalização no caso de forragens anuais de corte, sendo estas duas épocas as mais limitantes (Efe Serrano, 2006).

Apesar de todas as adversidades este clima e solos foram responsáveis pela riqueza florística das herbáceas da região, e mais concretamente pelo ecossistema do Montado (Efe Serrano, 2006) que caracteriza grande parte do Alentejo. Este, caracteriza-se como um sistema vocacionado para a agro-silvo-pastorícia, representa 33 % da área florestal portuguesa (Paço *et al.*, 2009) e está distribuído pelas planícies do Sul de Portugal continental (Ribatejo Sul e Alentejo). A cobertura arbórea é escassa, bem adaptada às elevadas temperaturas e aos períodos de seca e é maioritariamente composta por sobreiros (*Quercus suber*) nas bacias do Tejo e do Sado e azinheiras (*Quercus rotundifolia*) no interior com um subcoberto de pastagens naturais e melhoradas de sequeiro, culturas agrícolas e matos dispostos em mosaico. Baseia-se numa forma de produção extensiva com efeito positivo nos índices de biodiversidade, assegurando a manutenção de várias espécies enquanto presta serviços ambientais muito importantes na conservação do solo e da água, revelando-se não agressivo para o ambiente (Paço *et al.*, 2009; Potes, 2011; Reis e Calafate, 2013).

Assim, pode dizer-se que embora o Montado exista devido à acção humana, este foi criado, valorizando e respeitando o meio ambiente, e para que seja explorado em equilíbrio, é muito importante que se mantenha o seu carácter extensivo para que assim sejam evitadas agressões à natureza respeitando a sua capacidade produtiva (Potes, 2011). De facto, a dimensão das explorações no Alentejo é, segundo o INE (2014), quatro vezes superior à média nacional o que parece confirmar essa tendência extensiva.

Cada vez mais, o Homem procura garantir a rentabilidade económica, mas para que a exploração destes sistemas se possa prolongar indefinidamente é necessário que procure ao mesmo tempo a sustentabilidade ambiental, associando intimamente a ecologia com a economia, produzindo produtos diferentes e de qualidade diferenciada já reconhecidos e valorizados por isso. Esta coexistência do Homem com a biodiversidade sem entrarem em conflito e sem se prejudicarem integra-se no conceito de Ecologia da Reconciliação, definida por Reis e Calafate (2013) como “o estudo das modificações a operar nos ambientes antrópicos, de modo a poderem suportar uma grande biodiversidade sem que, com isso, o

Homem tenha que reduzir drasticamente as suas actividades”. Este modelo é assim uma alternativa às estratégias tradicionais de conservação, sem que seja necessário que o Homem se retire do ambiente ou que diminua significativamente a sua produção, beneficiando assim o ambiente como um todo e contribuindo para a sustentabilidade das suas explorações a médio e longo prazo (Potes, 2011; Reis e Calafate, 2013). Permite assim que, *“a natureza e sociedade reconciliem as suas necessidades, passando a coabitar sem que sofram de condicionalismos severos por isso”* (Reis e Calafate, 2013). O ecossistema do montado é assim um exemplo de exploração de acordo com o modelo de Ecologia da Reconciliação, e combina de forma sustentável três tipos principais de exploração sobretudo em sequeiro: A silvicultura que explora os recursos florestais, a agrária pelo cultivo de prados melhorados, espécies cerealíferas e forrageiras e a pastoril pela criação de gado (Reis e Calafate, 2013).

A SAU na região do Alentejo, compreende uma área de 2 146 508 ha. As pastagens permanentes ocupam mais de metade da SAU desta região, o que corresponde a cerca de 67,8 % das pastagens permanentes em Portugal (INE, 2014). Comparando com os dados de 2009, estas ganharam uma importância relativa no país, tendo-se verificado um aumento de superfície de 1,8 %, e um expressivo aumento das pastagens melhoradas e semeadas em 20,8 % com consequente decréscimo nas pastagens pobres de 3,3 % (INE, 2014).

O recente desenvolvimento do regadio nesta região promovido principalmente pela infraestrutura do Alqueva, pode ser visto como uma oportunidade para as explorações, usando-se geralmente para culturas mais rentáveis. O valor de produção padrão total (VPPT) por hectare de SAU nas explorações predominantemente de regadio, de cerca de 5010 €, é sete vezes maior do que o alcançado pelas explorações exclusivamente de sequeiro, de cerca de 740 €, o que pode ser aliciante. Mas embora se tenha registado um significativo aumento desde 2009 na área regada de cerca de 20.000 ha esta representa apenas 10,8 % da SAU do Alentejo, continuando as explorações exclusivamente de sequeiro a ter bastante relevância e sendo reservadas essencialmente para a exploração pecuária (INE, 2014).

O Alentejo é, consequentemente a principal região pecuária do país, encontrando-se aqui cerca de metade dos principais efectivos pecuários nacionais (à excepção dos caprinos), tendo-se registado mesmo aumentos nos efectivos desde 2009, mas ainda pouco significativos no caso dos caprinos, como mostrado no quadro 1.

Quadro 1 - Percentagem dos efectivos animais nacionais na região do Alentejo (Fonte: INE)

| | 2009 | 2013 |
|-----------------|------|--------|
| Bovinos | 39 % | 43,1 % |
| Ovinos | 49 % | 52,4 % |
| Suínos | 25 % | 53,1 % |
| Caprinos | 24 % | 25,5 % |

O aumento de prémios e quotas europeus atribuídos a vacas produtoras de carne pode ter sido aproveitado como uma oportunidade para os agricultores expandirem os seus efectivos nestas regiões de sequeiro, dando motivações para a implantação de novas pastagens permanentes semeadas, e melhoramento das já existentes, no que outrora foram pastagens pobres e terras dedicadas a culturas aráveis como os cereais que se tornaram inviáveis devido ao grande decréscimo dos preços ao produtor (Sevinate Pinto, 2014).

Apesar de, como referem Bernués *et al.* (2011), a excessiva dependência de subsídios ser um dos pontos críticos da sustentabilidade, estes podem ser um ponto de partida para uma mudança consistente para estes sistemas mais extensivos e mais sustentáveis com vista ao futuro.

Em consequência, as culturas de consociações forrageiras biodiversas devem também ser cada vez mais adoptadas nestes sistemas, com o objectivo da conservação por meio de fenos e silagens, a fim de se suplementar os animais nos períodos com fraca disponibilidade de pastagem, aumentando a rentabilidade das explorações.

sistemas de pecuária extensiva são pois a alternativa que resta para a utilização agrícola dos solos que há uns anos eram ocupados por sistemas de culturas arvenses de sequeiro, justificando-se assim as medidas de política agrícola de incentivo à adopção de um uso dos solos maioritariamente baseado em prados e pastagens e fazendo com que estas áreas menos produtivas nas condições adversas mediterrânicas sejam economicamente viabilizadas (Avillez e Carvalho, 2015).

2.1.3. Importância das pastagens e forragens na alimentação animal

A irregularidade ao longo do ano da produção das pastagens na região mediterrânica, intercalando períodos sem crescimento com outros em que o valor nutritivo da erva é baixo,

fazem com que a complementação com forragem conservada permita satisfazer as necessidades dos animais as quais estão dependentes dos tipos de produção em que os animais são explorados (Moreira, 2002).

Crespo (1977) referiu que, *“A erva de boa qualidade é o alimento ideal para bovinos proporcionando-lhes toda a gama de nutrientes necessários à satisfação da sua função produtiva normal”*. Na verdade, todos os ruminantes beneficiam desta forma de alimento, pois possuem um sistema digestivo que permite aproveitar todo o potencial nutritivo da erva (Freire, 2011), sendo no entanto, fracos conversores de alimentos de elevada concentração energética (Crespo 2011).

As maiores necessidades alimentares dos ruminantes são em energia e proteína. Os alimentos contém diferentes concentrações de energia e nutrientes, mas as necessidades nutricionais dos animais a que se destinam devem ser diariamente satisfeitas pela ingestão de uma certa quantidade destes alimentos (kg MS dia^{-1}), que vão ter também uma diferente eficácia de aproveitamento pelo animal (digestibilidade e utilização metabólica), sendo suficiente o fornecimento de forragens de mediana qualidade a animais de baixo nível produtivo, que é avaliado tendo em conta as necessidades totais de manutenção somadas às de produção, tendo que se elevar a qualidade destas à medida que o nível de produção é maior (Moreira, 2002).

As misturas pratenses e forrageiras ricas em leguminosas têm um valor nutritivo de qualidade superior com maiores níveis de proteína que vão ser ingeridas pelos animais em maior quantidade que as gramíneas estremes. São responsáveis por maiores produções por animal, reforçando o facto de que o mais desejável é manter prados permanentes semeados e melhorados nas explorações (Crespo, 2011) e culturas forrageiras para conservar e complementar os períodos de carência alimentar. Além disso, estes sistemas baseados em misturas forrageiras permitem que os ruminantes produzam proteínas de elevada qualidade para consumo humano e apenas a partir de recursos cultivados no país (Elgersmaa e Sørengaard, 2016).

A utilização de culturas forrageiras como complemento, é geralmente feita à manjedoura após o corte, quer como erva verde, quer conservada em fenos e silagens, mas também se pode deixar secar na parcela para agostadoiro (Moreira, 2002; Efe Serrano 2006).

Sendo as forragens verdes mais usadas em explorações pequenas e tradicionais para aproveitar em cortes múltiplos sem grandes perdas associadas nos processos de

conservação, os fenos e silagens constituem a escolha mais frequente, pois permitem grande facilidade na sua utilização e manipulação diária. As silagens são mais usadas em sistemas de produção de leite e exigem uma utilização e conservação cuidadas degradando-se por oxidação muito rapidamente e podendo causar distúrbios alimentares em condições de conservação deficientes. Os fenos facilitam uma grande elasticidade de utilização na dieta dos ruminantes, mas em contrapartida possuem um valor alimentar mais reduzido em digestibilidade, valor proteico e ingestibilidade, apresentam no entanto, menores riscos de toxicidade que as anteriores pelo facto de a secagem ao sol promover a redução de algumas substâncias tóxicas (Moreira, 2002).

Por último, as forragens de agostadoiro secas na parcela, constituem principalmente uma prática de economia de custos da dieta animal em explorações de pecuária extensiva, podendo-se com elas atingir melhor performance do rebanho neste período do que complementando com os habituais fenos, correndo no entanto, riscos associados as perdas físicas (Efe Serrano, 2006).

Em termos de custos, toma-se o exemplo demonstrado pela Fertiprado (2013): sendo a produção média de M.S. de uma mistura biodiversa para forragens rica em leguminosas de 9 000 kg ha⁻¹, que totaliza 8550 unidades forrageiras (UF) e 1620 de proteína, compara-se com o equivalente (nas mesmas percentagens de proteína e UF) a um saco de ração de 50 kg, cada um com 9 kg de proteína e 47,5 UF, com um custo de 12,50 €, obtendo-se um custo por ha de 2550 €, valor 8 vezes superior ao do ha de forragem de qualidade. Assim, uma UF obtida em erva conservada custa cerca de 13 % da mesma UF obtida a partir de alimento concentrado. Além disso, os produtos finais, carne, leite, e outros, obtidos a partir de erva são de qualidade superior, ricos em vitamina E, ácido linoleico conjugado (CLA) e ómega 3 ao contrário dos obtidos a partir de elevado consumo de alimentos concentrados, sendo eventualmente até nefastos para a saúde humana (Crespo, 2011).

A procura dos consumidores por estes produtos já é uma realidade, começando a valorizar mais a carne e o leite obtidos predominantemente em pastoreio como produtos de excelente qualidade e mais saudáveis.

2.2. Impactos das condições climáticas na produção e qualidade de biomassa em sequeiro

O Alentejo é, de todo o território português, a região onde se verificam os maiores défices hídricos determinados pelas condições naturais, possuindo zonas em que os índices de aridez, caracterizados por uma procura evaporativa mais alta que a quantidade de precipitação anual (Paço *et al.*, 2009), são extremamente elevados e limitativos para o desenvolvimento de culturas não regadas (Cary, 2004).

Os raros períodos de equilíbrio, do ponto de vista agronómico, quer de disponibilidades hídricas como térmicas, já referidos anteriormente, são condicionantes para a produção herbácea em sequeiro sendo a água a principal limitação da produtividade das plantas. No entanto, mesmo nestas condições sub-óptimas, a produção de biomassa anual pode atingir as 3 t MS ha⁻¹ em prados não melhorados e com baixas taxas de eficiência de pastoreio (Moreira, 2002; Efe Serrano, 2006; Scocco *et al.*, 2016).

Na figura 1, estão representadas as curvas de crescimento da erva típicas do mediterrâneo quando em regime de sequeiro. Embora a forragem seja semeada no Outono e cortada no fim da Primavera, segue curvas de crescimento deste tipo. Apresenta uma resposta similar consoante a quantidade de precipitação nestas duas estações críticas para o desenvolvimento herbáceo.

Efe Serrano (2006) considerou, tendo em conta os valores das normais climatológicas no período 1950-80 na região do Alentejo, um Outono húmido quando a precipitação é superior a 200 mm no trimestre entre Setembro e Novembro e uma Primavera húmida, quando a precipitação é superior a 150 mm no trimestre entre Abril e Junho. Abaixo destes limites de precipitação, as estações do ano são consideradas secas. Como pode ser observado na figura 1, formam-se dois picos de produção nestas estações, uma vez que no Inverno o crescimento é menor (ou nulo). A família das gramíneas é a mais produtiva quando o Outono e o Inverno são húmidos. As leguminosas, quando existem em proporção elevada na mistura pratense ou forrageira, vão usufruir da humidade primaveril e dominar a pastagem ou forragem, valorizando a biomassa resultante (Efe Serrano, 2006).

Devido às alterações climáticas globais, existe cada vez mais, um aumento da incerteza em termos de quantidade e distribuição dos eventos de precipitação (Mäkinen *et al.*, 2015; Piras *et al.*, 2016), sendo de esperar que haja um aumento na variabilidade intra-anual da precipitação, com eventos de precipitação intensa (Grant *et al.*, 2014) mas também de secas

severas e prolongadas (Paço *et al.*, 2009) com aumento de aridez (Scocco *et al.*, 2016), tornando os Verões mais secos e extensos e os Invernos mais quentes. Esta variabilidade climática, fará com que a estação predominante de crescimento se desloque gradualmente para o Inverno (Ergon *et al.*, 2018).

Existem estudos que demonstram que o stresse hídrico se agravará, que muitas vezes irá ocorrer em regime de sequeiro, afectará a qualidade e quantidade da forragem na região do mediterrâneo. Em pastagens perenes a produção de biomassa será tanto maior quanto maior o valor da precipitação anual, sendo necessário estudar as suas consequências a fim de implementar estratégias que minorem os potenciais efeitos negativos na produção e qualidade de forragens (Grant *et al.*, 2014; Scocco *et al.*, 2016).

Se um aumento na precipitação anual juntamente com um aumento das temperaturas globais tem um forte impacto positivo na produtividade das forragens, principalmente em locais secos caracterizados por espécies anuais (Mäkinen *et al.*, 2015; Scocco *et al.*, 2016), pelo contrário em regime de sequeiro os eventos de seca prolongada vão inibir o afilhamento e ramificação das plantas, acelerando a morte dos rebentos e a senescência das folhas, limitando a produtividade da cultura ao longo do seu ciclo de vida. O défice hídrico reduz também a aquisição do azoto mineral do solo pelas plantas, o que resultará numa menor qualidade da forragem (Durand *et al.*, 2010; Grant *et al.*, 2014). Um atraso na colheita após um período de seca quando combinado com fertilização pode ser uma estratégia para permitir que as plantas recuperem a qualidade dos tecidos, e desenvolvam novas folhas. Na ausência de seca, um atraso no corte das forragens diminuirá a quantidade gradualmente pelo crescimento de tecidos senescentes e a qualidade pela diminuição da digestibilidade com o decréscimo do teor de proteína bruta e o aumento da concentração de fibra na forragem (Grant *et al.*, 2014)

A capacidade de adaptação das plantas mediterrânicas é fundamental para tolerar e suportar condições ambientais considerando os actuais e futuros cenários de alterações globais. Embora as plantas das regiões mediterrâneas já comecem a mostrar uma maior eficiência no uso de água sob condições de seca e características adaptativas que as ajudam a lidar com o stresse ambiental, a adaptação de espécies é um processo demorado (Matesanz e Valladares, 2014). Assim, torna-se fundamental a investigação focada no melhoramento de plantas, de forma a encontrar melhores soluções para as necessidades dos agricultores, procurando-se novos materiais genéticos, e seleccionando plantas adaptadas aos nichos ecológicos específicos onde irão ser inseridas. Estas devem ter capacidade de resistência a diversas condições climáticas, para além da inclusão nestas misturas de variedades de maior

produtividade e equilíbrio nutricional, entre outras características (Freire, 2013; Fertiprado, 2014).

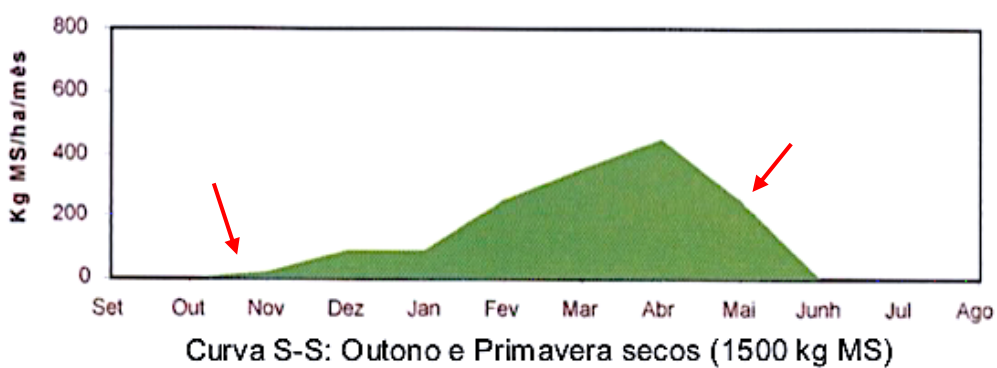
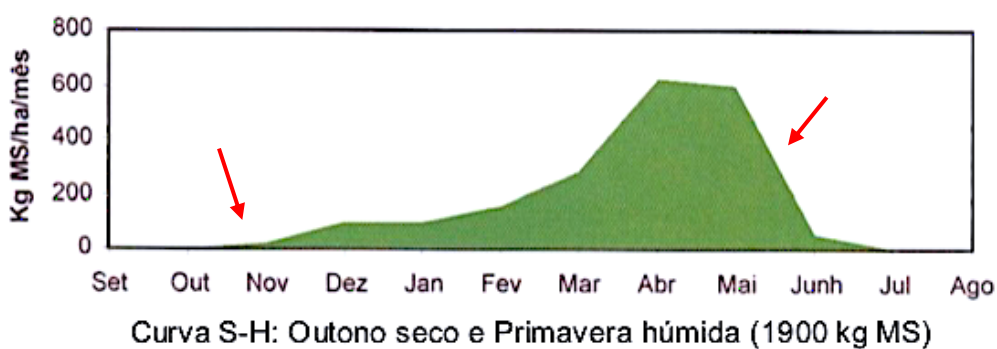
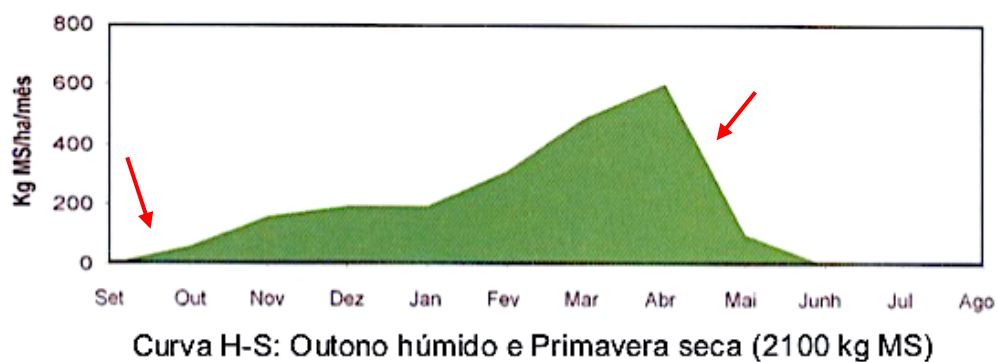
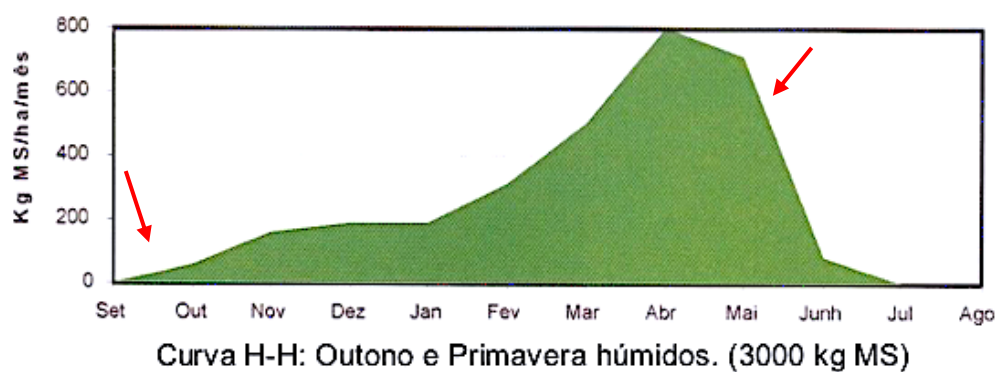


Figura 1 -Curva crescimento da erva em sequeiro. As setas indicam no caso de culturas forrageiras, as épocas de sementeira (Outono) e corte (Primavera). (Adaptado de Efe Serranho, 2006)

Assim, as possíveis estratégias de gestão que visam minorar os potenciais efeitos negativos das secas, passarão pela escolha de misturas de espécies específicas ou melhoradas que se adaptem à variabilidade climática e mais resistentes ao stresse hídrico que mantenham a qualidade da forragem em estágios avançados de maturação, técnicas de fertilização adaptadas, rega (quando possível) e escolha das datas de sementeira e de corte (Grant *et al.*, 2014).

2.2.1. Acumulação térmica e ciclo cultural

O ciclo de crescimento das culturas está dependente da acumulação térmica (ou índice de graus-dia de crescimento AGDD), uma vez que o crescimento e fenologia das plantas depende essencialmente da acumulação de temperatura, desde que não exista limitação de água. Este índice é um indicador agroclimático que assume que o crescimento da planta ocorre apenas acima de um limiar de temperatura, à qual chamamos temperatura base T_b , abaixo da qual a taxa de crescimento é considerada insignificante (Spinoni *et al.*, 2015; Nogueira *et al.*, 2017).

As plantas também possuem um limiar de temperatura superior T_u (“cut-off temperature”), acima da qual as actividades metabólicas cessam, havendo prejuízo no seu desenvolvimento e, por isso, considerado importante para algumas culturas (Renato *et al.*, 2013; Spinoni *et al.*, 2015).

O número de graus-dia é calculado como:

$$AGDD = \sum (T_M - T_b) , \text{ se } T_b \leq T_M < T_u \quad (1)$$

Sendo T_M a temperatura média diária, T_b a temperatura base e T_u o limiar de temperatura superior (Spinoni *et al.*, 2015; Nogueira *et al.*, 2017).

O método do AGDD tem um papel importante na predição das etapas de crescimento de uma cultura, contribuindo para a tomada de decisão nomeadamente em termos de gestão das datas de sementeira. Assim, em cenários de alterações climáticas, este método assume uma maior utilidade pois através dele é possível prever o ciclo de desenvolvimento das culturas, desde a sementeira à data de corte/colheita, possibilitando uma melhor gestão da cultura, (Renato *et al.*, 2013; Anandhi, 2016; Akyuz *et al.*, 2017).

2.2.2. Estima dos impactos dos défices hídricos na produção de biomassa

A escassez de água é o factor mais limitante nas culturas herbáceas, e quando as suas necessidades em água não são satisfeitas, resulta em stresse hídrico para as plantas, afectando o seu crescimento, a sua evapotranspiração e consequentemente a produtividade da cultura. O impacto do stresse hídrico, na produção varia com o período de crescimento em que o stresse ocorre (Doorenbos e Kassam, 1979).

É possível estimar a produção de uma cultura em condições sub-óptimas, particularmente quando afectada por stresse hídrico. A utilização de modelos permite estimar e avaliar o efeito do stresse hídrico na produção. Existem dois tipos de modelos de produção: 1) os modelos determinísticos, como: o modelo multiplicativo de Jensen (1968), o modelo PLANTGRO (Hanks, 1974), e os modelos global e fásico de Stewart (Stewart *et al.*, 1977); e 2) os modelos mecanísticos que são mais complexos e onde se incluem entre outros o modelo AquaCrop (Steduto *et al.*, 2012), CropSyst (Stöckle *et al.*, 2003), DSSAT (Jones *et al.*, 2003) e WOFOST (van Diepen *et al.*, 1988). Exemplo de aplicações incluem os estudos de aplicação do modelo AquaCrop para avaliação dos impactos na produção de cevada da rega de complemento (Pereira *et al.*, 2015) e na produção de luzerna (Kim e Kaluarachchi, 2015).

O modelo global de Stewart, o qual considera que a cultura tem um comportamento homogéneo ao longo do ciclo em termos de resposta ao stresse hídrico, assume, usando o factor de resposta da cultura à água (K_y , adimensional), uma relação linear entre o défice relativo de evapotranspiração sazonal da cultura e as perdas relativas de produção. Assim, avalia os impactos na produção, partindo da produção potencial (Y_m , kg ha⁻¹), quantificando para tal a evapotranspiração relativa dada pela razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ($ET_{c\ act}/ET_c$). A Y_m refere-se à produção a uma cultura sem qualquer constrangimento, de maneira a que ela se desenvolva em condições edafoclimáticas e mediante práticas culturais óptimas, e em que a água fornecida satisfaz todas as suas necessidades hídricas. Os valores de K_y encontram-se descritos em vários trabalhos e resultam de trabalhos de investigação abrangendo uma ampla gama de culturas e condições culturais das mesmas (e.g. Doorenbos e Kassam, 1979; Shrestha *et al.*, 2010; Patané *et al.*, 2011; Paredes *et al.*, 2014). O modelo S1 foi modificado por Paredes *et al.* (2014) de forma a utilizar a transpiração da cultura em vez da evapotranspiração (ET), dado que a transpiração é a componente de ET determinante para a produção. Assim:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{T_{act}}{T_c} \right) \quad (2)$$

sendo a produção actual (Y_a) estimada como:

$$Y_a = Y_m - \frac{Y_m K_y T_d}{T_c} \quad (3)$$

onde Y_a e Y_m são as produções real e máxima respectivamente (kg ha^{-1}), K_y é o factor de resposta de água-produção, T_c é a transpiração máxima e T_d é a diferença entre a transpiração máxima e a real, $T_d = T_c - T_{c \text{ act}}$ (Paredes *et al.* 2014).

A produção máxima (Y_m) pode ser observada ou estimada utilizando modelos simplificados como o método de Wageningen e o método Agro-ecological zone (AEZ) e que se baseiam nas variáveis climáticas (temperatura, radiação e humidade relativa) e factores como a espécie da cultura, densidade de sementeira, duração do crescimento da cultura e desenvolvimento vegetativo expresso através do índice de área foliar (LAI). Os modelos de produção como os anteriormente descritos também permitem esta determinação, mas como foi referido, são mais exigentes em termos de parametrização.

Existem vários estudos relativos a aplicações que conjugam modelos de balanço hídrico como o modelo ISAREG (Popova *et al.*, 2006), o modelo MOPECO (Domínguez *et al.*, 2012) ou o modelo SIMDualKc (Paredes *et al.* 2015b, 2017; Giménez *et al.*, 2017) com o modelo de Stewart para a estima dos impactos do stress hídrico na produção de culturas anuais com por exemplo milho (*Zea mays* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.), ou soja (*Glycine max* L.).

2.3. Gestão da alimentação animal

2.3.1. Produção e gestão de forragens

Os custos com a alimentação animal condicionam a rentabilidade das explorações agro-pecuárias. A produção de alimentos de qualidade na própria exploração permite o ganho de independência relativamente a factores externos de produção. No entanto, é necessário adequar e integrar as explorações vegetais à exploração animal a fim de otimizar o uso dos recursos e melhorar os resultados económicos da exploração (Moreira, 2002; Freire, 2011).

Deve-se assim escolher adequadamente espécies específicas na mistura a semear, tendo em conta os condicionalismos edafoclimáticos da parcela, assim como a época de sementeira, esquemas de aplicação de fertilizantes, técnicas de rega e regime de corte (Grant *et al.*, 2014). A forragem a semear, deve ser adequada às exigências dos animais da exploração do ponto de vista da sua utilização, valor nutritivo e digestibilidade e conforme o encabeçamento médio anual da exploração, factor determinante para o seu resultado económico (Moreira, 2002; Efe Serrano, 2006; Freire, 2011).

As práticas agrícolas e o manejo devem adequar-se, visando um equilíbrio óptimo entre a qualidade e o rendimento da forragem, estabilidade de produção e persistência (Ergon *et al.*, 2018). Devem também ser respeitados a carga animal e os períodos ideais de pastoreio, pastoreios esses que não devem ser realizados quando se trata de misturas forrageiras para corte, embora muitas possam ter aptidão para suportar pastoreio (Freire, 2011).

Em explorações agro-pecuárias extensivas, com pastagens semeadas, naturais melhoradas ou não melhoradas, existem sempre períodos de carência alimentar que devem ser suplementados. Apenas na Primavera as necessidades dos animais são satisfeitas totalmente por pastagens, sendo que na maior parte do ano, no Outono, Inverno e Verão há que complementar preferencialmente com o alimento produzido (forragem) uma vez que há carências crónicas que serão maiores ou menores conforme o ano (Efe Serrano 2006; Potes, 2011).

A figura 2 representa o esquema da alimentação de animais ao longo do ano em sistema de pastoreio em sequeiro mediterrânico, usando o exemplo de um efectivo de 6 ovelhas ha⁻¹. Em a) está representado o período de Outono/Inverno, em que alimentação suplementar é à base de fenos, palhas ou bolotas que representam um complemento importante sendo um alimento de elevado valor energético e interessante do ponto de vista nutritivo e que pode ser utilizado sem restrições se em associação com alimentos que cubram as suas deficiências proteicas

como é o caso da erva outonal. À medida que se aproxima o Inverno, e enquanto a erva não recresce, os animais podem ainda ingerir a rama de limpeza das árvores, sendo que as ramas de azinheira e esteva são apenas alimentos de recurso que não devem ser utilizados como alimentos únicos na dieta animal. O ponto b) refere-se à utilização de pasto seco, sendo este correspondente ao excesso de biomassa que não foi consumida na Primavera. A suplementação com restolhos também ocorrerá entre esta época e a época de fim de Verão início de Outono representada por c) onde os animais são ainda suplementados com fenos, palhas e vegetação arbustiva até às primeiras ervas de Outono (Moreira, 2002; Efe Serrano, 2006; Potes, 2011).

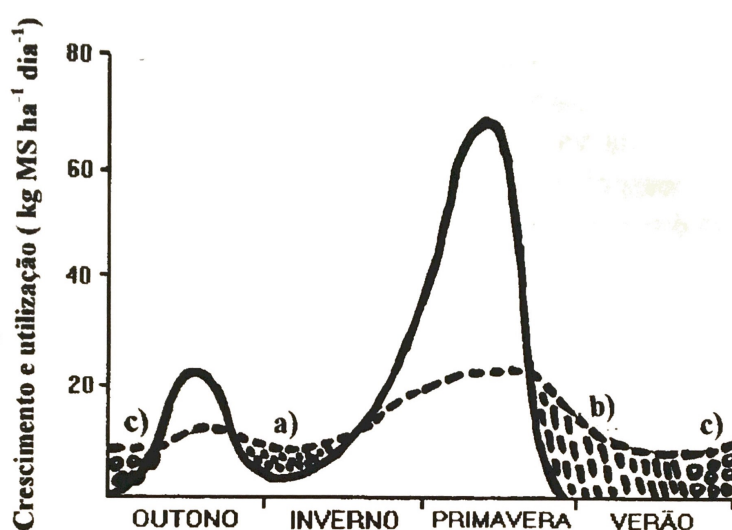


Figura 2 - Representação esquemática da alimentação dos animais ao longo do ano em sistemas baseados na utilização de pastagens semeadas de sequeiro mediterrânico (Considerando o encabeçamento de 6 ovelhas ha⁻⁶)(Fonte: Moreira, 2002)

2.3.2. Importância das consociações em pastagens e forragens

Quando em misturas, as leguminosas e as gramíneas competem entre si pela luz, nutrientes minerais e água, estas têm diferentes vantagens entre famílias e espécies em relação às outras. Assim, tendo em conta as especificidades de cada espécie e os seus hábitos de crescimento, estas são escolhidas de forma a coexistirem num equilíbrio de complementaridade. As gramíneas vão dominar na estação fria e as leguminosas no fim da Primavera e no Verão, aproveitando as suas distintas exigências e óptimos em luz e temperatura para o crescimento (Moreira, 2002).

Um dos grandes desafios da agricultura actual é a intensificação sustentável, pelo que as consociações forrageiras ganham grande importância, uma vez que misturas de espécies de plantas com características contrastantes permitem aumentos de rendimento relativos às monoculturas (Husse *et al.*, 2016). O aumento da riqueza de espécies em mistura, poderá garantir a estabilidade do rendimento da biomassa, nomeadamente em condições de alterações climáticas, conferindo estabilidade à produção de pastagens e forragens com vista à segurança alimentar da exploração. No entanto, deve efetuar-se uma gestão adequada da selecção de espécies e cultivares de diferentes grupos funcionais (Grant *et al.*, 2014; Mäkinen *et al.*, 2015). A complementaridade das espécies em mistura, passa então pela forma como estas irão competir entre si pela luz, nutrientes minerais e água, sendo deste modo necessário uma escolha adequada para que se possa tirar o melhor partido de todas as espécies.

No estudo de Husse *et al.*, (2016) foi observado que o efeito da mistura de quatro espécies forrageiras (*Lolium perenne*, *Cichorium intybus*, *Trifolium repens* e *Trifolium pratense*) no rendimento foi grande e consistente, devendo-se ao facto da consociação interceptar mais luz quando comparada com as monoculturas, pois misturas de espécies com diferentes arquitecturas foliares contribuem para uma menor competição pela luz e maior produção de biomassa. Estes efeitos na optimização da intercepção pela luz, podem ser ainda maiores quando se misturam espécies com diferenças mais amplas na arquitectura foliar, como por exemplo, espécies de diferentes famílias. As diferenças na produtividade nos diferentes estágios de crescimento entre espécies podem levar ainda a uma complementaridade temporal na intercepção da luz durante a estação de crescimento.

A aquisição de água e nutrientes, parece à primeira vista ser uma vantagem para as gramíneas devido ao facto de que o seu sistema radicular fasciculado irá explorar um volume muito maior de solo. No entanto, esta vantagem é apenas na absorção de P, K, S e nitratos. As leguminosas têm uma maior capacidade de troca catiónica das suas raízes permitindo-lhes vantagem competitiva na absorção de catiões bivalentes. No entanto a sua maior vantagem é a capacidade de fixação simbiótica de azoto que lhes permite uma superior dominância no cultivo de solos pobres em N (Moreira, 2002).

As leguminosas, através do rizóbio, têm a capacidade de fixar azoto atmosférico, incorporando-o no solo, aumentando a quantidade de N disponível para as culturas tornando assim estas plantas economicamente e ambientalmente mais sustentáveis (Ordóñez-Fernández *et al.*, 2018). A possibilidade de obter maiores produções sem aumentar o uso de fertilizantes azotados sintéticos que são de elevado custo, é uma mais valia para o agricultor, baixando assim os custos de produção de erva na exploração (Crespo, 2011). O processo de

fixação de azoto pela simbiose *Rhizobium/leguminosa*, oferece assim uma vantagem importante pela possibilidade de fazer a transição de uma economia fóssil para uma economia de base biológica (Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2016).

No entanto a capacidade de produzir maior quantidade de forragem, requer o cultivo de misturas, geralmente ricas em leguminosas, havendo mais benefícios quando as sementes se encontram inoculadas com a estirpe específica de rizóbio de cada espécie. Nyfeler *et al.*, (2011) observaram que os efeitos positivos da mistura de gramíneas e leguminosas na produção de biomassa se devem a efeitos estimulantes mútuos na aquisição de N, bem como à eficiência de transformação do N adquirido em biomassa, não estando apenas dependentes do efeito directo da fixação simbiótica de N₂.

Observa-se que leguminosas forrageiras quando consociadas com gramíneas, recebem em média mais de 80 % do azoto com origem na fixação de N₂, sendo que a proporção de N perdida é recuperada pelas gramíneas (Elgersmaa e Sørensen, 2016). Verifica-se assim que outra vantagem das misturas é a dupla função de retenção de nitrato NO₃⁻ contra a lixiviação ao mesmo tempo que retém N no solo, sendo que as espécies cultivadas em estreme fornecem apenas um desses serviços (White *et al.*, 2017). É portanto, desaconselhada a aplicação de doses elevadas de fertilizantes minerais em presença destas consociações, uma vez que isso levaria a uma diminuição na percentagem de leguminosas na mistura, quando a tendência é a de que estas ocupem uma alta percentagem na composição da forragem (Malinas *et al.*, 2015).

Em relação à absorção de água, verifica-se que misturas de plantas com características contrastantes no que diz respeito à anatomia e fisiologia das raízes vão ter uma diversidade funcional aumentada nesta zona, e assim uma melhor capacidade de absorção de água em todo o perfil do solo, devido a um melhor aproveitamento da água que irá permanecer disponível por mais tempo sob efeitos de seca (Barkaoui *et al.*, 2016). Assim, mesmo em modo de produção intensivo, a diversidade de plantas em pastagens e culturas forrageiras, pode melhorar a sua resistência/resiliência às condições de seca (Finn *et al.*, 2018).

Na região do Mediterrâneo, usam-se tradicionalmente consociações de certas leguminosas anuais, trepadoras (e.g. Ervilhas – *Vicia spp.*; Chicharos – *Lathyrus spp.*) ou não trepadoras (e.g. *Lupinus spp.*), com cereais praganosos de Inverno e azevéns (*Lolium*) para produção de forragem (Moreira, 2002), sendo as consociações mais equilibradas em condições de sequeiro, atingidas em misturas de cereais forrageiros com leguminosas anuais trepadoras (Moreira, 1980). Entre as mais usadas, encontra-se o exemplo de misturas de ervilhaca

comum (*Vicia sativa* L.) com aveia (*Avena sativa* L.) e tritcale (*Triticosecale* Wittmack). O estudo de Lithourgidis *et al.*, (2006) concluiu que estas espécies consociadas em diferentes proporções de sementeira afectam positivamente a taxa de crescimento das espécies presentes na mistura, bem como a produção e qualidade da forragem. Nestas misturas, os cereais melhoram não só a intercepção da luz, fornecem suporte estrutural para o crescimento da ervilhaca e facilitam a colheita mecânica, enquanto que a ervilhaca melhora a qualidade da forragem. No entanto, as monoculturas de ervilhaca comum e de cereais não mostraram resultados satisfatórios para produção de forragem, sendo a qualidade do feno obtido geralmente menor do que a necessária para muitos animais, segundo os mesmos autores.

Outras espécies são cada vez mais frequentemente usadas no estabelecimento de culturas forrageiras, nomeadamente azevém italiano (*Lolium multiflorum* Lam), trevo da pérsia (*Trifolium resupinatum* L.), ervilhaca vulgar (*Vicia sativa*) e trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi.) consociadas com cereais forrageiros podendo também ser usada em cortes múltiplos e com um potencial produtivo de 6 a 9 ton M.S. ha⁻¹ ou azevém italiano consociado com bersim (*Trifolium alexandrinum*) com um potencial produtivo de 6 a 10 ton M.S. ha⁻¹ (Crespo, 1977). Ainda segundo o mesmo autor, consociações de ervilhaca de cachos vermelhos (*Vicia benghalensis*) ou ervilhaca de cachos roxos (*Vicia villosa*) com aveia forrageira (*Avena sativa*) têm especial relevância quando se destina a corte único para conservação, sendo o seu potencial produtivo de 5 a 8 ton M.S. ha⁻¹.

Um exemplo de uma consociação que mistura cereal forrageiro e azevém com leguminosas anuais de rápido crescimento no Outono/Inverno é o TRITIMIX (nome comercial), que consocia tritcale, azevém, ervilhaca de cachos roxos, trevo da Pérsia e trevo vesiculoso, tem um potencial produtivo de 8 a 16 ton M.S. ha⁻¹ (Fertiprado, 2017) e é objecto deste estudo.

2.4. Evapotranspiração das culturas e necessidades de água

Num solo cultivado e de sequeiro, toda a água armazenada é proveniente da precipitação, e da toalha freática quando esta é superficial. Esta água retorna à atmosfera devido fundamentalmente a dois processos que ocorrem em simultâneo e por vezes torna-se difícil a sua medição: A evaporação do solo e a transpiração da cultura. A combinação destes dois processos é definida como evapotranspiração de uma cultura (ET) (Allen *et al.*, 1998).

Neste contexto, caracteriza-se a evaporação de água do solo (E_s) como o processo pelo qual a água líquida é convertida em vapor de água e removida da superfície evaporativa do solo, estando todo este processo dependente da energia disponível (radiação solar), temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do vento. Para além das condições climáticas, a evaporação encontra-se fortemente condicionada pelo grau de ensombramento do solo pela cultura (energia disponível) e pela quantidade de água disponível na camada evaporativa (Allen *et al.*, 1998).

A transpiração (T_c) consiste na vaporização da água líquida captada (juntamente com alguns nutrientes) pela raiz e transportada pelos tecidos da planta e libertada para a atmosfera predominantemente através dos seus estomas, dependendo fundamentalmente dos mesmos factores meteorológicos citados para a evaporação. A transpiração é também influenciada pelas características da cultura (diferentes tipos de plantas possuem diferentes taxas de transpiração), pelo estágio de desenvolvimento, aspectos ambientais (salinidade, fertilidade e tipo de solo) e sua gestão por via de práticas culturais (lavoura, fertilização, controlo de pragas e doenças, *mulching*, entre outros) (Allen *et al.*, 1998).

Assim, em condições potenciais, e na fase de sementeira, aproximadamente 100 % da ET é evaporação, e na fase de máximo desenvolvimento, cerca de 90 % da ET é transpiração (Allen *et al.*, 1998).

Quando se investe numa cultura, o objectivo é alcançar a máxima produção possível. Assim sendo, é desejável que o teor de água no solo seja suficiente para que a cultura possa extrair a quantidade de água que está a perder para a atmosfera por evapotranspiração (ET). Esta água, numa cultura de sequeiro, e em condições de toalha freática profunda, será reposta através da precipitação, que dado o seu carácter incerto e variável em termos de quantidade pode afectar a produção como consequência de défice hídrico. Assim, é importante ter conhecimento das necessidades hídricas da cultura ao longo do ciclo, sendo que para isso se procede ao cálculo do balanço hídrico do solo. A equação de balanço hídrico do solo é definida como (Allen *et al.*, 1998):

$$\Delta ASW = I + P - ET - RO - DP + CR \quad (4)$$

Sendo ΔASW a variação de água no solo (mm), I a rega (quando aplicada) (mm), P a precipitação (mm), ET a evapotranspiração (mm), RO o escoamento superficial (mm), DP a percolação profunda (mm), CR a ascensão capilar (mm) e ΔSF a variação dos fluxos superficiais (mm).

Uma vez que, em princípio, não será possível proceder à rega numa cultura de sequeiro, esta informação é importante para a escolha de consociações e/ou cultivares mais adaptadas a determinados períodos de carência hídrica. Em locais que embora de sequeiro, haja a possibilidade de efectuar rega de complemento, esta informação permitirá otimizar o calendário de rega.

2.4.1. Métodos para medição e estima da evapotranspiração das culturas

Antes de fazer uma abordagem à estimação da evapotranspiração, é necessário ainda introduzir alguns conceitos, distinguindo evapotranspiração de referência (ET_o , mm), evapotranspiração cultural (ET_c , mm) e aquela que é a evapotranspiração real ou ajustada ($ET_{c\ act}$, mm).

A ET_o , refere-se à taxa de evapotranspiração numa cultura de referência hipotética e é um conceito usado para estudar a quantidade de água que é evaporada para a atmosfera numa localização específica, durante um determinado período de tempo e independentemente do tipo e características da cultura, práticas culturais e factores do solo. A evapotranspiração de uma cultura em condições padrão ET_c , *i.e.*, não sujeita a qualquer factor de stresse e portanto atingindo a sua máxima produção potencial, será então estimada tomando a ET_o como referência (Allen *et al.*, 1998; Paredes, 2014; Ferreira, 2017).

Para determinar a evapotranspiração cultural potencial (ET_c) numericamente, a abordagem clássica é fazer a multiplicação da ET_o pelo coeficiente cultural K_c , o qual engloba as características que diferenciam a cultura em estudo da cultura de referência. Este coeficiente cultural K_c , é assim dado pelas razões experimentalmente determinadas entre ET_c e ET_o , alterando-se desde a sementeira até à colheita. Existem duas aproximações para o seu cálculo: A que utiliza os coeficientes culturais médios, combinando os efeitos de evaporação do solo e transpiração das culturas e a que utiliza os coeficientes culturais duais, que considera estes dois efeitos de forma separada (Allen *et al.*, 1998; Rosa *et al.*, 2010). A aproximação dual permite a separação das duas componentes da ET , E_s e T_c , como:

Sendo,

$$E_s = K_e ET_o \quad e \quad T_c = K_{cb} ET_o \quad (5)$$

então,

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \cdot ET_o \Leftrightarrow ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (6)$$

onde ET_o é a evapotranspiração de referência (mm, d^{-1}), K_{cb} é o coeficiente cultural potencial de base (adimensional) e K_e o coeficiente de evaporação da água do solo (adimensional)

Os coeficientes culturais variam ao longo do ciclo das culturas. Na figura 3, encontra-se assim representada a curva dos coeficientes culturais, sendo traçada a partir dos períodos definidos por Allen *et al.* (1998), inicial, intermédio e final do ciclo da cultura, aos quais correspondem respectivamente os coeficientes, $K_{c \text{ ini}}$, $K_{c \text{ mid}}$, e $K_{c \text{ end}}$ (ou $K_{cb \text{ ini}}$, $K_{cb \text{ mid}}$ e $K_{cb \text{ end}}$).

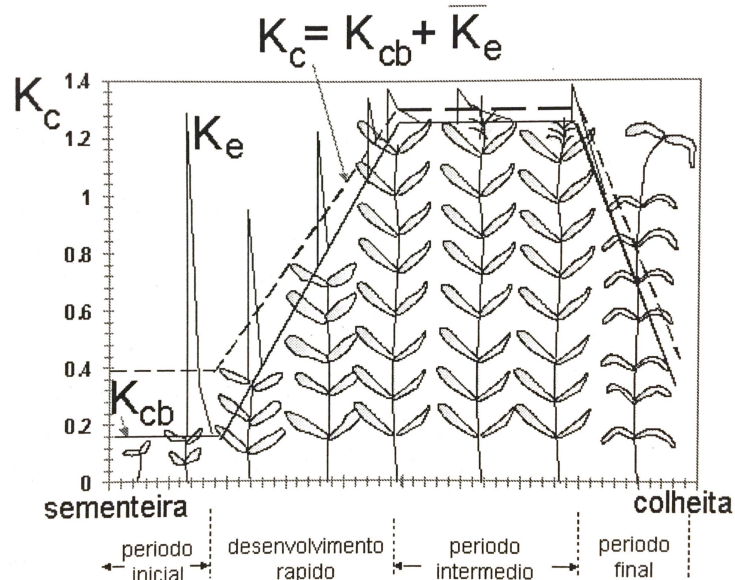


Figura 3 - Coeficiente cultural basal, K_{cb} , relativo à transpiração da cultura e K_e relativo à evaporação a partir do solo (Fonte: Paredes *et al.* 2015a)

Por último, a $ET_{c \text{ act}}$ refere-se à evapotranspiração considerada real, que é a evapotranspiração de culturas que crescem sob condições ambientais e práticas culturais que não as padrão, *i.e.*, que podem estar sujeitas a stresse hídrico, pragas e doenças, baixa fertilidade do solo, salinidade e cujas práticas agrícolas são inadequadas e não respondem de forma eficiente para corrigir estes problemas. Tudo isto vai restringir o crescimento vegetativo levando a uma diminuição da ET_o . Neste caso, a ET vai ser ajustada utilizando um coeficiente de stresse K_s que ajusta os coeficientes médios ou basal ao stresse hídrico e/ou ao stresse salino (Allen *et al.*, 1998; Rosa *et al.*, 2010, 2012).

Assim, em condições de stresse, a evapotranspiração cultural real ou actual $ET_{c\ act}$, é calculada como:

$$ET_{c\ act} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o = (K_{cb\ act} + K_e) ET_o \quad (7)$$

Deste modo, $ET_{c\ act} < ET_c$ e o K_{cb} real será dado por $K_{cb\ act} < K_{cb}$ (Rosa *et al.*, 2012).

A medição da evapotranspiração (ET) pode ser efectuada recorrendo a diversos métodos. No entanto estes são de um modo geral, caros e usam sistemas que empregam princípios físicos e técnicas complexas mais precisas, sendo mais destinados a investigadores experientes pois requerem cuidados experimentais substanciais. Assim, para modelar a ET são usados geralmente dados meteorológicos e algoritmos que conseguem descrever a energia superficial e características aerodinâmicas da vegetação, sendo esta modelação menos complexa para sistemas agrícolas uma vez que há mais uniformidade nos parâmetros do que em sistemas não agrícolas tais como florestas e desertos (Allen *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2011).

Os métodos mais comuns de medição da ET assim como os métodos indirectos para estimar ET, estão descritos em Allen *et al.*, (2011), e incluem o balanço de massa em grandes áreas, os lisímetros, o método da razão de Bowen, o método das flutuações instantâneas, cintilómetros, a conjugação da medição do fluxo de seiva (transpiração da cultura) e de utilização de micro-lisímetros para a medição da evaporação do solo, balanço energético por detecção remota, análise de imagens multiespectrais de satélite ou de câmaras instaladas em aviões ou drones usando índices vegetativos. Como anteriormente referido a ET pode ser estimada pelo balanço hídrico do solo recorrendo a modelos como os anteriormente referidos assim como os modelos BUDGET (Raes *et al.*, 2006), PILOTE (Khaledian *et al.*, 2009), HYDRUS (Ramos *et al.*, 2011) e SIMDualKc (Rosa *et al.*, 2012a).

Para o presente trabalho, foi escolhido o modelo SIMDualKc pois este realiza a partição da ET_c , a fim de o conjugar com o modelo de “água-produção” de Stewart permitindo uma estima mais adequada dos impactos do stress hídrico na produção de biomassa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. Descrição da exploração e da parcela em estudo

O presente estudo foi realizado no Monte de Mateus, localizado em Vaiamonte, concelho de Monforte no distrito de Portalegre. Constituído por 497 ha, encontra-se dividido em várias parcelas (de número variável devido à utilização de cercas), estando destinado sobretudo à pecuária extensiva de bovinos de carne cruzados Alentejano X Charolês, com um encabeçamento de cerca de 0,4 cabeças normais por hectare, em sistema de pastoreio intermitente. A herdade é composta maioritariamente por montado de azinho e sobreiro, este em menor quantidade, e um olival tradicional. Em toda a sua extensão existem prados espontâneos não melhorados de sequeiro. Pelo menos 30 ha são semeados anualmente com uma consociação forrageira de sequeiro sendo a mesma área é semeada por 2 anos consecutivos. A exploração dispõe de vários recursos hídricos, desde pequenos cursos de água, uma barragem, uma charca cuja água é proveniente de uma nascente, e alguns poços. No entanto, estes recursos hídricos são insuficientes para permitirem a instalação de um sistema de rega, e servem maioritariamente para abeberamento do gado.

O estudo realizou-se no ano agrícola de 2016/2017, e focou uma área seleccionada de uma das parcelas da exploração (figura 4). No entanto, colectou-se informação adicional relativa ao ano de 2015/2016. A parcela tem coordenadas geográficas, 39° 06' 56,1" N, 7° 31' 27,2" O, e embora tenha uma extensão de aproximadamente 50 ha, tem uma área semeada efectiva de 41 ha. Esta parcela foi semeada durante dois anos consecutivos, 2015/2016 e 2016/2017, com a consociação forrageira anual TRITIMIX da Fertiprado. A área de estudo consistiu na escolha de 3 locais representativos da parcela com 10 m X 15 m.



Figura 4 - Parcela em estudo no Monte de Mateus. (Fonte: Google, 2017)

3.1.2. Caracterização climática

O clima na região é de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006) do tipo Csa, caracterizando-se por clima temperado. O Verão é quente e seco, e o Inverno é chuvoso com precipitações que são de um modo geral superiores ao triplo da precipitação mínima verificada na estação quente. Este clima também é denominado clima mediterrânico (Lohmann *et al.*, 1993).

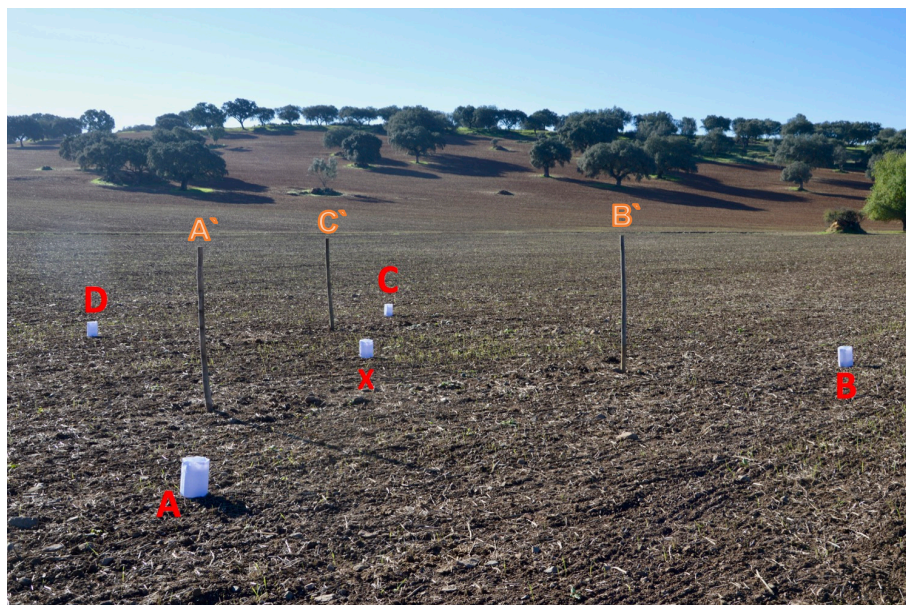


Figura 5 – Disposição dos colectores (A, B, C, D, X) no perímetro da zona do ensaio.

Para uma análise mais detalhada do clima do local em estudo, foram usados dados climatológicos relativos ao ponto mais próximo da grelha de reanálise ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011) provenientes do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF). Estes dados, são referentes ao período de 1979 a 2015, e a sua qualidade foi previamente analisada (Martins *et al.*, 2017; Paredes *et al.*, 2018a). Como analisado nestes estudos os dados da grelha de reanálise apresentam erros de estima mas que no seu conjunto são pouco relevantes. Adicionalmente procedeu-se à correcção topográfica das temperaturas máxima e mínima de modo a remover os erros introduzidos por diferenças de elevação existente entre o ponto da grelha e o local/estação (Zhao *et al.*, 2008); sendo esta correcção de 6,5 °C por cada Km.

Neste intervalo de 36 anos, verificou-se que nos meses mais quentes a precipitação foi quase nula e as temperaturas foram elevadas, características do clima do tipo Csa. Neste período, e tomando apenas o tempo de duração de um ciclo de forragem anual, *i.e.* de Setembro a Junho, a temperatura variou de um mínimo de - 4,0 °C observado no mês de Janeiro e um

máximo de 40,2 °C registado no mês de Junho. Relativamente à precipitação acumulada anual, a média nestes 36 anos foi de 499 mm, tendo variado de 272 mm a 879 mm.

Para os anos de estudo os dados meteorológicos usados no trabalho, foram provenientes da estação meteorológica de Avis/Benavila (coordenadas: 39,11; -7,88; altitude 150 m), por ser a de maior proximidade à parcela em estudo (fonte: IPMA). As observações nesta estação são horárias e incluem: A Temperatura do ar (°C), humidade relativa (%), velocidade média do vento (m/s) medida a 2 m de altura, e a radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$). De notar que se optou por seguir a mesma metodologia do IPMA no tratamento dos valores diários de temperatura e humidade, tendo sido usados os valores mais altos e mais baixos do dia, e não valores relativos a horas estipuladas, como sugerem algumas publicações. Os dados de precipitação, foram observados no campo, para tal foram instalados 5 pluviómetros em torno de cada área do ensaio (figura 5), medindo-se assim a precipitação diária em cada um deles, e fazendo-se posteriormente a média das medições a fim de evitar os efeitos de uma eventual variação espacial.

Com o objectivo de comparar os dados históricos para 36 anos (1979 – 2015), com os observados nos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017, apresentam-se em seguida, dois diagramas de extremos e quartis, para melhor ilustrar as diferenças das temperaturas médias mensais (figura 6), e da precipitação acumulada mensal (figura 7):

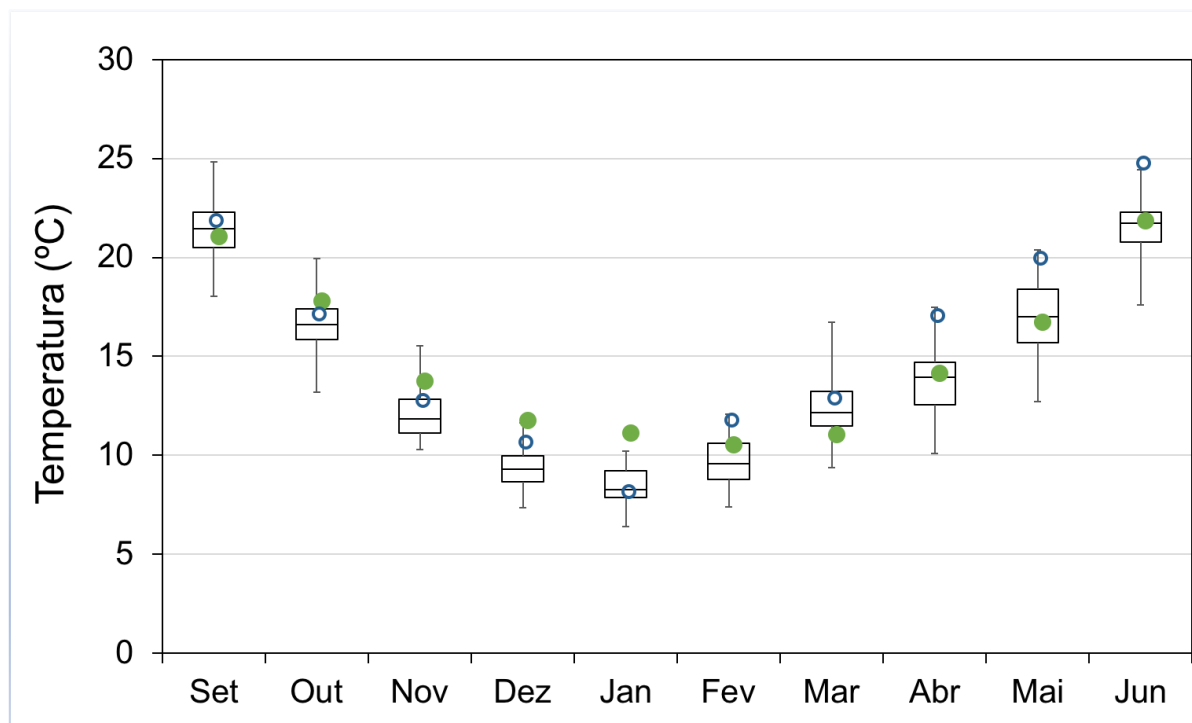


Figura 6 - Diagrama de extremos e quartis comparativo entre as temperaturas médias mensais de 36 anos (1979-2015) com as dos anos agrícolas em estudo, ● 2015/2016 e ○ 2016/2017.

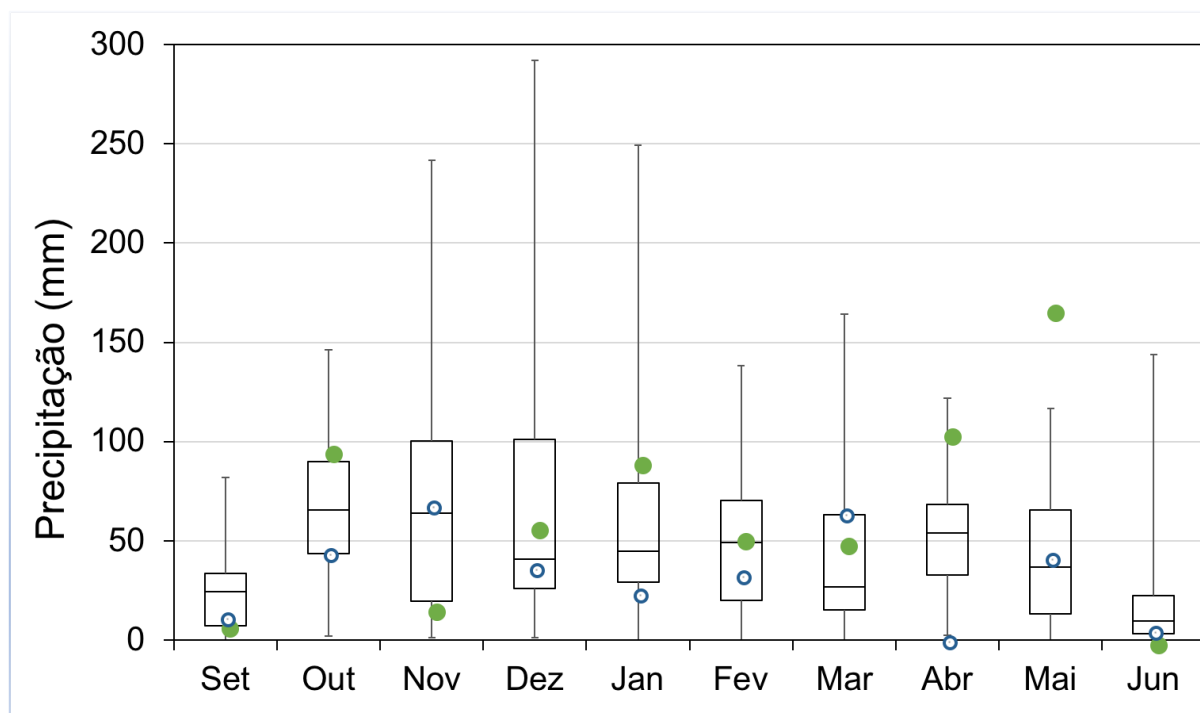


Figura 7 - Diagrama de extremos e quartis comparativo entre a precipitação acumulada mensal de 36 anos (1979-2015) com as dos anos agrícolas em estudo, ● 2015/2016 e ○ 2016/2017.

Um facto desde logo bastante evidente é o aumento da temperatura média dos anos em estudo relativamente aos anos dos dados históricos. De notar também, que os dois últimos anos agrícolas foram anos contrastantes, já que:

- O ano agrícola de 2015/2016 foi um ano bastante chuvoso, principalmente na Primavera, podendo, segundo Efe Serrano (2006) considerar-se um ano produtivo para pastagens não melhoradas de sequeiro. Entre Setembro e Junho a precipitação foi superior a 600 mm, e portanto acima da média da série de 36 anos.
- O ano agrícola de 2016/2017 foi um ano considerado seco, principalmente na Primavera, tendo-se registado precipitação nula no mês de Abril. Durante todo o ciclo da consociação forrageira (Outubro-Maio), registou-se uma precipitação inferior a 300 mm.

A caracterização climática baseada na procura climática (ET_o) e na precipitação é apresentada nas figuras 8 e 9, respectivamente para os anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017. A evapotranspiração de referência (ET_o , mm dia⁻¹) foi calculada usando a equação FAO Penman-Monteith (FAO-PM) (Allen *et al.*, 1998). A precipitação acumulada entre a sementeira e o corte, foi de 490 mm no primeiro ano e de 271 mm no segundo.

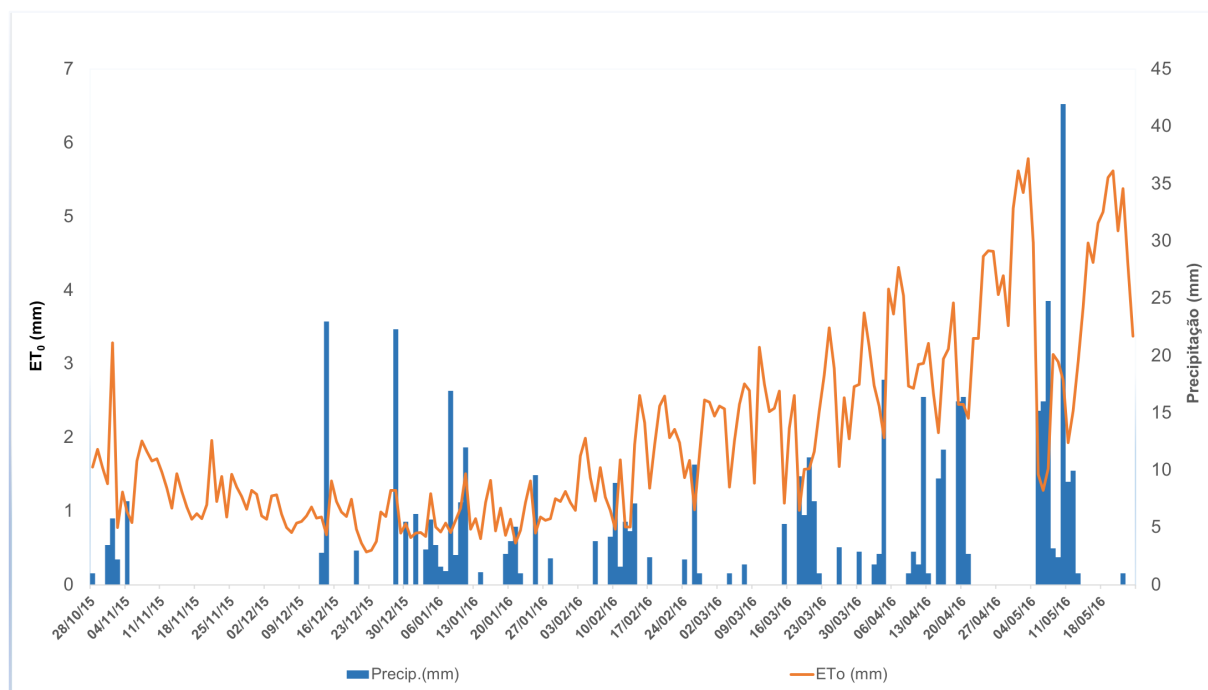


Figura 8 – Caracterização climática baseada na ET_0 e na precipitação para o ano de 2015/2016.

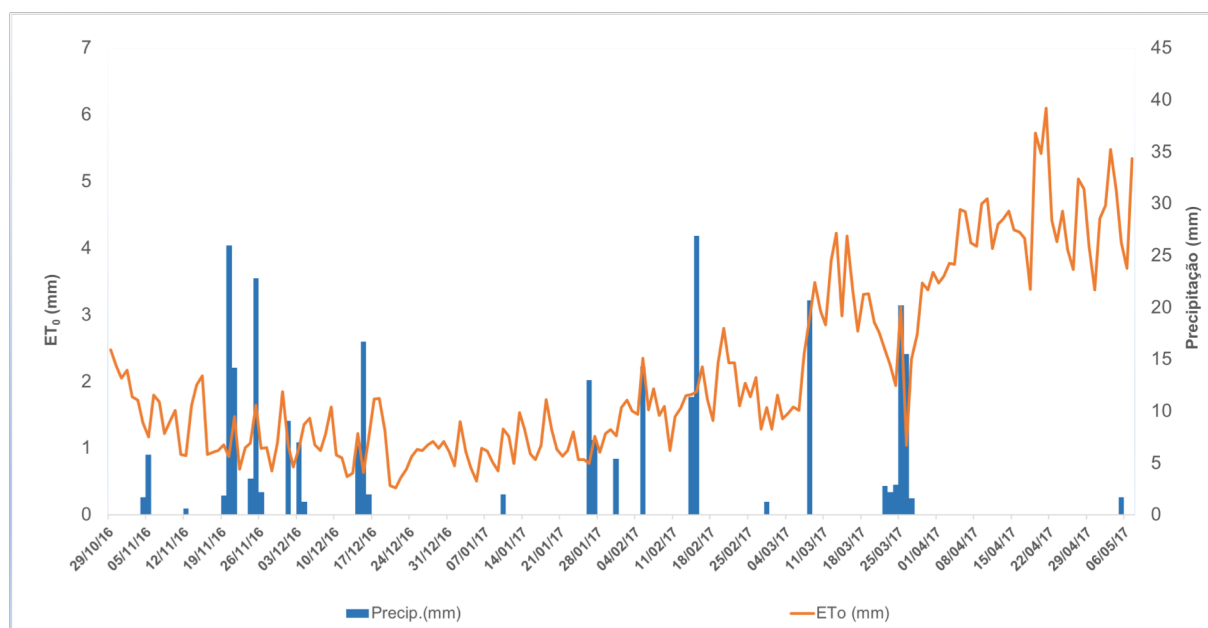


Figura 9 - Caracterização climática baseada na ET_0 e na precipitação para o ano de 2016/2017.

A completar o descrito neste ponto, apresenta-se em seguida o quadro 2, para que melhor se possa visualizar o contraste destes dois anos, no que diz respeito à procura climática. Para isso, apresenta-se a precipitação e ET_0 , nas datas referentes ao início de cada estágio de crescimento da cultura como descrito no FAO 56 (Allen *et al.*, 1998).

Quadro 2 – Procura climática em cada estágio de crescimento da cultura. Comparação entre os dois anos em estudo, sendo os dados referentes a 2016/2017 observados.

| | 2016/2017 | | | 2015/2016 | | |
|--|------------|----------------------|--------|------------|----------------------|--------|
| | Data | ET _o (mm) | P (mm) | Data | ET _o (mm) | P (mm) |
| Sementeira | 29/10/2016 | 2,5 | 0 | 28/10/2015 | 1,6 | 0 |
| Início do período de crescimento rápido | 21/11/2016 | 34,9 | 36,0 | 17/11/2015 | 30,1 | 19,8 |
| Início do período intermédio | 16/02/2017 | 99,5 | 165,8 | 22/01/2016 | 63,5 | 129,4 |
| Início do período final | 20/04/2017 | 189,8 | 54,0 | 20/04/2016 | 188,2 | 190,7 |
| Corte | 07/05/2017 | 82,2 | 1,7 | 24/05/2016 | 135,5 | 141,6 |

*Sendo ET_o a evapotranspiração de referência, e P a precipitação medidas em mm e acumuladas entre cada período de referência.

As referidas fases foram observadas para o ano agrícola de 2016/2017, tendo sido estimadas para o ano agrícola de 2015/2016 utilizando o método do cálculo da acumulação térmica (AGDD) (Eq. 1) como anteriormente descrito. Considerou-se assim, o valor da temperatura base $T_b = 5,5\text{ °C}$ por ser a temperatura base para as culturas de cereais de Inverno mais importantes da Europa segundo Spinoni *et al.*, (2015) e porque é esta a temperatura considerada como o zero vegetativo das pastagens (Moreira, 2002). Quanto a T_u foi estabelecido como $T_u = 30\text{ °C}$ (Nogueira *et al.*, 2017).

3.1.3. Caracterização edáfica

Segundo a Carta dos Solos de Portugal nº 32D (1976), podem encontrar-se na parcela onde foi conduzido o estudo 6 diferentes tipos de solo (sendo dois destes complexos), totalizando 7 unidades diferentes de solo (figura 10). A parcela é composta maioritariamente por dois tipos de solo: Solos Mediterrâneos Pardos de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins (Pm) e por Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas básicas (Vcv). Possui ainda em menores áreas Solos de Baixas (Coluviosolos) de textura mediana (Sb), Solos Mediterrâneos Pardos Para-Solos hidromórficos de rochas detríticas arenáceas e gnaises ou rochas afins (Pagn), e os solos complexos: Ca+Sb que correspondem à associação de Solos Hidromórficos de aluviões ou coluviais com Solos de Baixas (Coluviosolos) ambos de textura mediana, e Pv+Vcv+Arcx sendo os primeiros dois tipos Solos

Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas básicas (Pv+Vcv) onde se encontram também Afloramentos Rochosos de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas (Arcx).

De acordo com Carvalho Cardoso (1965), os solos da parcela são solos evoluídos, à excepção do Sb, que é um solo não evoluído incipiente. Os solos Pm e Vcv são os que ocupam uma maior área na parcela, e são solos pertencentes à mesma ordem, a dos Solos Argiluvitados Pouco Insaturados, com pH 6,0 a 7,0 nas camadas superficiais.

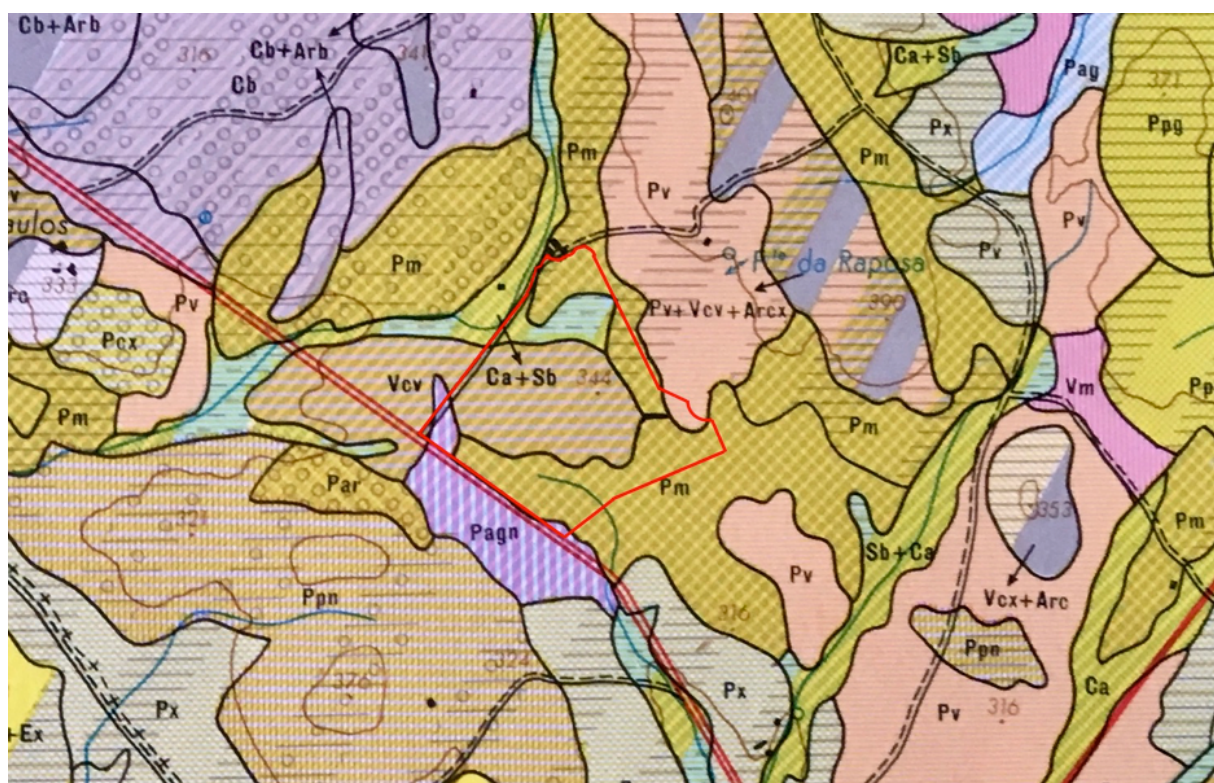


Figura 10 – Identificação e delimitação da parcela em estudo (a encarnado) na carta de solos de Portugal nº32 D (1976). Escala 1:50 000.

Os tipos de solo acima descritos à excepção do Sb, apresentam texturas variáveis, podendo ir de ligeira nos solos Pm a mediana ou pesada nos solos do tipo Vcv, uma baixa percentagem de matéria orgânica (que decresce com a profundidade) quando cultivados, e razão C/N geralmente baixa indicando rápida capacidade de decomposição de restos animais e vegetais. A capacidade de troca catiónica é variável (acompanhando no geral a curva da argila), podendo ser baixa a mediana em solos Pm e mediana a alta em solos Vcv, sendo o cálcio o catião dominante em todos os tipos de solo. O grau de saturação é muito elevado, aumentando geralmente com a profundidade. A expansibilidade é elevada nos para-barros e baixa ou nula nos restantes solos. A capacidade de campo tem valores moderados ou elevados e a capacidade utilizável apresenta ser baixa a mediana nos horizontes superficiais e mediana a elevada nos inferiores (Carvalho Cardoso, 1965). Pode ser encontrada uma

análise mais detalhada de cada tipo de solo que compõe a parcela, no Anexo I. É no entanto, importante referir, que estas análises aos tipos de solo da parcela servem apenas como referência, uma vez que estes perfis podem nos dias de hoje estar diferentes devido às operações culturais de ripagem e subsolação que foram aqui efectuados ao longo dos anos.

Com o objectivo de caracterizar os solos da parcela em estudo em termos de propriedades texturais e hidráulicas, foi aberto um perfil no solo com 1,50 m. Foram retiradas 3 amostras de solo não perturbadas de 100 cm³, a cada 0,10 m de profundidade nos primeiros 0,20 m sendo retiradas amostras a cada 0,20 m nas camadas subsequentes (figura 11), até uma profundidade de 0,80 m pois a partir daqui encontrava-se uma camada mais compactada que impede o desenvolvimento radicular.



Figura 11 - Abertura de perfil no solo e recolha de amostras não perturbadas.

As amostras não perturbadas conservam o mais possível as características naturais do solo, nomeadamente a sua estrutura (Ramos *et al.*, 2016), e serviram para determinar em laboratório as propriedades hidráulicas do solo (quadro 3). Para pressões inferiores a -10 kPa foram utilizadas caixas de areia e foram utilizadas painéis de pressão para as pressões -10, -33, -100 e -1500 kPa (Ramos *et al.*, 2016). As amostras foram saturadas, e depois sujeitas às distintas pressões, até atingir o equilíbrio entre o teor de água na amostra e a pressão exercida. O teor de água correspondente ao coeficiente de emurchecimento permanente corresponde a uma pressão de -1500 kPa e a capacidade de campo a -33 kPa. .

A textura ou composição granulométrica do solo (quadro 3), foi determinada em amostras perturbadas retiradas para as mesmas profundidades. Esta determinação foi efectuada em amostras de 630 cm³ de solo, correspondendo a aproximadamente 0,5 kg. A composição granulométrica tem em conta a dimensão das partículas minerais das amostras, que estão compreendidas entre certos limites, correspondentes às frações definidas de acordo com a escala de Atterberg. Em Portugal, e no presente estudo, foram considerados os seguintes lotes granulométricos: areia grossa (2,0-0,2 mm), areia fina (0,2-0,02 mm), limo (0,02-0,002 mm) e argila (<0,002 mm) (Ramos *et al.*, 2016).

Quadro 3 - Textura e propriedades hidráulicas do solo

| Profundidade (m) | Areia Grossa | Areia Fina | Limo (%) | Argila | Dap (g cm ⁻³) | θ_{sat} | θ_{FC} (cm ³ cm ⁻³) | θ_{WP} |
|---------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|------------------------------|----------------|--|---------------|
| 0 – 0,10 | 19,7 | 43,3 | 21,2 | 15,8 | 1,47 | 0,4303 | 0,2219 | 0,1097 |
| 0,10 – 0,20 | 19,1 | 44,1 | 20,8 | 15,9 | 1,61 | 0,3790 | 0,2423 | 0,1268 |
| 0,20 – 0,40 | 18,4 | 37,9 | 20,2 | 23,6 | 1,56 | 0,3833 | 0,2890 | 0,2056 |
| 0,40 – 0,60 | 14,0 | 34,3 | 19,0 | 32,7 | 1,53 | 0,4116 | 0,3618 | 0,2918 |
| 0,60 – 0,80 | 10,1 | 33,1 | 21,7 | 35,1 | 1,53 | 0,4143 | 0,3620 | 0,2956 |

θ_{sat} , θ_{FC} , θ_{WP} , representam as médias dos teores de água no solo (volumétricos), sendo respectivamente os coeficientes de saturação a pF 0,0%, capacidade de campo a pF 2,5% e emurchecimento permanente a pF 4,2%. Dap é a média da densidade aparente.

A partir dos valores da análise granulométrica, e usando os diagramas triangulares com os agrupamentos texturais do solo e da textura do solo (Ramos *et al.*, 2016), pode classificar-se o solo quanto à sua classe e agrupamento textural. Assim, verifica-se que o solo é em toda a profundidade estudada (0,80 m) de textura medianamente pesada (MdP) e que se caracteriza como franco-limosa (FL) nos primeiros 0,40 m do perfil e de textura franco-argilo-limosa (FAL) nas camadas subsequentes até 0,80 m.

3.1.4. Caracterização da consociação forrageira e práticas culturais

A mistura forrageira escolhida para esta parcela (em dois anos consecutivos), como já foi referido, foi a mistura de nome comercial TRITIMIX I da empresa Fertiprado, tendo sido aplicada com uma densidade de sementeira de 80 kg/ha à profundidade entre 0.5 e 1 cm, usando um semeador de linhas, seguida de rolagem.

O TRITIMIX I é uma das 3 gamas desta variedade, adequada a solos ácidos a neutros, e franco-arenosos a franco-argilosos. É composta por uma mistura biodiversa de sementes selecionadas de triticales (variedade de porte alto funcionando como tutor para as leguminosas), azevéns anuais, ervilhacas anuais e trevos anuais para corte único e que permitem sementeiras mais tardias (até Dezembro). De referir também que cada semente de leguminosa presente na mistura, se encontra devidamente inoculada com o *Rhizobium* específico e peletizada. A Fertiprado indica uma “máxima produção de feno ou silagem”, sendo que em boas condições a produção de matéria seca deverá situar-se entre as 8 e as 16 ton em condições ideais. Considera também que esta é a mistura forrageira que se adequa a explorações com necessidade de forragem com alto teor de fibra, como é o caso da exploração em estudo (Fertiprado, 2017).

As variedades presentes na consociação em estudo eram: o tritcale (x *Triticosecale* Wittmack); o azevém Italiano(*Lolium multiflorum* Lam.); a ervilhaca de cachos roxos(*Vicia villosa* Roth.); o trevo da Pérsia(*Trifolium resupinatum* L.) e o trevo vesiculoso(*Trifolium vesiculosum* Savi.), apresentando-se em seguida as suas principais características.

O tritcale é um cereal que apresenta boa adaptação a vários tipos de solo, mas com vantagens na produtividade em solos ácidos. É adequado ao cultivo com o objectivo de obter forragem e grão, apenas em corte único ou para pastoreio no final do Outono e Inverno, uma vez que após o corte, tem um bom recrescimento resultando na produção de grão e palha em quantidades apreciáveis para conservação (Moreira, 2002; Potes, 2011). em a capacidade de produzir maior quantidade de matéria seca acima do solo do que outros cereais de Inverno em ambientes secos, sendo este um atributo importante em ambientes de sequeiro. Esta vantagem foi verificada especialmente em clima do tipo mediterrânico onde o rendimento e a biomassa obtidas mostraram ser quase o dobro que as proporcionadas pelo trigo(*Triticum spp.*)(Estrada-Campuzano *et al.*, 2012).

O azevém Italiano, é uma planta que se adapta a todos os tipos de solo e tolera solos ácidos preferindo solos de elevada fertilidade, mas as suas preferências ecológicas são por solos húmidos ou encharcados, tendo capacidade de desenvolver raízes adventícias à superfície (Moreira, 2002; Monteiro *et al.*, 2014). É uma espécie bem adaptada a regiões de Inverno ameno e precipitações frequentes sendo o seu cultivo geralmente anual na estação fria de Setembro/Outubro a Abril/Maio, com temperaturas óptimas de crescimento entre os 5 – 6 °C e os 15 – 18 °C. Tem aptidão forrageira apresentando valor nutritivo elevado até ao início do espigamento (entrando a partir desta fase em decréscimo), podendo ser utilizado em vários cortes em verde ou pastoreio, devendo o último corte ser feito ao início ou no pleno espigamento para conservação (Moreira, 2002).

A ervilhaca de cachos roxos, é uma variedade frequentemente cultivada para forragem (Monteiro *et al.*, 2014), e sendo muito rústica, tem maior resistência ao frio no Inverno que outras espécies de ervilhaca, tolerando geadas fortes e prolongadas e adaptando-se bem a solos mais ácidos e arenosos, onde outras espécies não seriam adequadas, podendo no entanto sofrer com falta de água no Inverno e na Primavera (Vilax, 1963). Possui um período de floração muito prolongado e, sendo mais tardia tira proveito da disponibilidade de água que possa existir no solo, prolongando o crescimento até mais tarde e melhorando assim a

produção de biomassa quando consociada com cereal (Walton, 1983; Moreira, 2002). É um excelente adubo verde, enriquecendo o solo com azoto e matéria orgânica (Vilax, 1963).

O trevo da Pérsia, dá-se preferencialmente em solos temporariamente encharcados, eutrofizados (Monteiro *et al.*, 2014), mal drenados, suportando solos ácidos e apresentando boa resistência à salinidade (Gamas, 2017). A variedade de porte mais prostrado é adequada para pastoreio tolerando-o bem, enquanto que a variedade mais erecta é frequentemente cultivada como forragem, apresentando assim dupla aptidão (Sousa *et al.*, 2015; Gamas, 2017). Resistente ao frio, embora com crescimento lento a baixas temperaturas, apresenta crescimento determinado permitindo à planta um crescimento contínuo face a condições favoráveis, cessando-o temporariamente quando estas são adversas como em presença de stresse hídrico ou vagas de calor. Esta característica revela-se muito útil nas características de clima mediterrâneo (Gamas, 2017).

Por último, o trevo vesiculoso, tem preferência por solos ácidos a neutros, apresentando boa tolerância ao stresse hídrico por possuir um sistema radicular profundo, sendo também adequado a solos arenosos com baixa retenção de água. Em presença de solos alcalinos ou com má drenagem o seu desenvolvimento pode ser prejudicado ou até mesmo cessar. Esta espécie é frequentemente incluída em misturas pratenses e forrageiras, apresentando bom nível de digestibilidade da matéria seca durante mais tempo que os outros trevos, pois sendo uma espécie que se mantém verde durante mais tempo nas pastagens, tem também uma maturação mais lenta (Gamas, 2017). No estudo realizado pelo mesmo autor, confirmou-se a tolerância à escassez hídrica deste trevo, apresentando uma produção de MS apreciável mesmo nas condições desfavoráveis do ano em que foi realizado (2016/2017), sugerindo que esta é uma das espécies que deve ser escolhida em prol da manutenção e sustentabilidade dos sistemas agrícolas e pecuários no futuro face às condições de clima mediterrânico.

O ano do estudo (2016/2017), foi o segundo ano em que se semeou esta forragem, tendo o agricultor assumido que a cultura anterior teria já fixado uma boa quantidade de azoto. Além disso, foram aqui colocados os bovinos da exploração (logo após o corte e fenação) durante todo o Verão para aproveitamento de restolhos, considerando-se a reciclagem de nutrientes pelos animais, via excrementos. Assim, no primeiro ano, as adubações de fundo e cobertura aplicadas foram as recomendadas pela Fertiprado, sendo que no ano em estudo, foi realizada a aplicação em fundo de 150 kg ha⁻¹ de um adubo 18:46:0, correspondendo a 27 kg de N e 69 kg de P₂O₅. Quando as gramíneas se encontravam no fim do afilhamento/início do encanamento, realizou-se uma adubação de cobertura com 150 kg ha⁻¹ de nitrolusal 27%, correspondendo a 40,6 kg de N.

Para efectuar a caracterização da consociação forrageira ao longo do ciclo cultural no ano de 2016/2017, foram realizadas 4 amostragens de biomassa vegetal, tendo como referência para a selecção das datas das mesmas, a percentagem de área de solo coberta pela vegetação. A percentagem de área coberta foi determinada visualmente, utilizando uma estrutura (*frame*) de 1m x 1m. Assim consideraram-se as datas quando a percentagem da cobertura de solo foi de 10%, 50%, 75% e 100%, conforme mostra o quadro 4. As amostras foram colhidas em 3 unidades de amostragem de 1 m² cada, próximos dos locais onde se colectaram as amostras para determinação do teor de água do solo (A`, B` e C` da figura 5). O material vegetal recolhido foi devidamente acondicionado em sacos térmicos, identificado segundo o local de recolha, e transportado para o laboratório em ambiente fresco, de modo a evitar perdas de humidade. De referir ainda, que nestes locais onde foi retirada a biomassa, foram também recolhidas em seguida as amostras de solo, para não haver perturbação.

Quadro 4 – Data das colheitas de amostras da consociação forrageira ao longo do ciclo, segundo a % de área coberta pré-determinada.

| | Data | Nº de dias após sementeira | % de área coberta |
|----------------------|----------|----------------------------|-------------------|
| 1ª Amostragem | 28/11/16 | 31 | 10% |
| 2ª Amostragem | 27/12/16 | 60 | 50% |
| 3ª Amostragem | 07/02/17 | 102 | 75% |
| 4ª Amostragem | 07/05/17 | 191 | 100% |

Em laboratório, foi realizada a separação de cada amostra em sub-amostras de acordo com a sua identificação botânica (Triticale, Azevém, Trevos, Ervilhaca e outra espécies); foram também identificados e contabilizados os detritos (material senescente, pedaços de madeira, palhas e outros). Estas sub-amostras foram etiquetadas e pesadas em verde. Em seguida, este material vegetal foi colocado numa estufa de circulação de ar do tipo Memmert modell 800, a uma temperatura de 65 ± 5 °C, até obtenção de peso constante; foi verificado que este era obtido após 48 horas de secagem. No final do período de secagem foi registado o peso seco de cada uma das amostras. Alguns dos passos descritos encontram-se ilustrados na figura 12.



Figura 12 - 2º corte efectuado no interior da estrutura (*frame*), seguido de separação botânica, pesagem e posterior secagem em estufa.

3.1.5. Determinação do teor de água no solo

Para determinar o teor de água no solo ao longo do ciclo da consociação forrageira, foi utilizado o método gravimétrico. Este método baseia-se essencialmente na determinação do peso da água numa amostra de solo, sendo um método expedito e bastante preciso (Oliveira, 2011; Ramos *et al.*, 2016). Assim, procedeu-se à recolha semanal de amostras de solo utilizando uma sonda do tipo Edelman (Eijkelkamp, NL). As amostras foram retiradas a cada 0,10 m até uma profundidade máxima de 0,80 m. Cada amostragem consistiu em três replicações em diferentes locais da consociação forrageira dentro da área inicialmente seleccionada (perímetro delimitado por A`, B` e C` na figura 5) e foram obtidas considerando os procedimentos descritos por Allen *et al.*, (2011b). As amostras eram imediatamente colocadas em recipientes herméticos e pesadas. Em seguida, em laboratório, os recipientes foram destapados e colocados numa estufa à temperatura constante de 105° durante períodos de 12 horas, até à obtenção de peso constante - verificou-se que este era atingido após 48 horas tendo sido este o período de tempo considerado nas subseqüentes determinações -, obtendo-se assim o peso seco das amostras de solo (figura 13). Por diferença entre o peso do solo húmido e o peso seco, obteve-se o peso de água que a amostra de solo continha. Assim, foi possível determinar a percentagem de humidade em relação ao peso de solo seco – o teor de humidade em peso – dividindo o valor calculado do peso de água na amostra pelo peso seco da mesma amostra. O teor de água no solo numa base volumétrica – o teor de humidade em volume θ_v -, foi obtido pelo produto entre o teor de humidade em peso, pela densidade aparente do solo (Quadro 3).



Figura 13 - Alguns passos da execução do método gravimétrico.

Durante o ciclo cultural, que decorreu entre 29/10/16 (data da sementeira) e 07/05/17 (data da colheita), foram colectados 23 conjuntos de amostras de solo (Anexo II).

Adicionalmente, foi efectuada a avaliação da profundidade radicular ao longo do ciclo da consociação forrageira. Para tal, bi-mensalmente foram colectadas, com a sonda anteriormente descrita, amostras de solo usando-se o método visual para localizar as raízes. Verificou-se que a maior concentração de raízes se encontrava nos primeiros 0,20 m do solo

encontrando-se raízes até uma profundidade máxima de 0,50 m. As raízes mais profundantes eram raízes muito finas e pouco densas ($< 0,01\%$). Estas observações estão de acordo com diversos estudos como por exemplo os realizados com azevém italiano (Pietola e Alakukku, 2005; Hu *et al.*, 2018; Matocha *et al.*, 2018), nos quais foi verificado que as raízes não apresentam um comprimento superior a 0,60 m, concentrando-se a biomassa das raízes maioritariamente nos primeiros 0,20 m de profundidade reduzindo-se drasticamente dos 0,30 aos 0,60 m, atingindo em consociação com misturas de trevos de várias espécies, uma profundidade máxima de 0,30 m, sendo este padrão típico de culturas anuais (Pietola e Alakukku 2005). Em trabalhos realizados com ervilhacas e trevos de várias espécies anuais e perenes, incluindo o trevo da Pérsia e a ervilhaca de cachos roxos foi relatado que as raízes destes não ultrapassam os 0,30 m com uma maior distribuição das suas raízes até aos 0,10 m, facto que foi verificado para a maioria das espécies anuais estudadas (Zarea *et al.*, 2011; Chmelíková e Hejchan, 2012; Mothapo *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2018). De referir ainda que em solos em que a textura se altera com a profundidade, como é o caso do solo da parcela em estudo em que o teor de argila aumenta, principalmente a partir dos 0,40 m, pode existir uma rápida redução da biomassa radicular, semelhante ao relatado por Pietola e Alakukku (2005).

Deste modo, é adequado considerar 0,50 m como a profundidade máxima das raízes (Z_r m) para os cálculos do balanço hídrico do solo.

3.2. Modelação da evapotranspiração da consociação forrageira

3.2.1. O modelo de balanço hídrico SIMDualKc

Como anteriormente referido, no presente trabalho, foi seleccionado o modelo SIMDualKc, uma vez que adopta a aproximação dual para o cálculo diário e partição da evapotranspiração das culturas ET_c (mm, d^{-1}) fazendo a separação das suas componentes de evaporação do solo (E_s , mm) e transpiração da cultura (T_c , mm), realizando a simulação do balanço da água no solo diariamente à escala da parcela cultivada. Assim, é possível perceber as fracções de água provenientes da precipitação ou da rega (quando aplicada), que são efectivamente usadas pela cultura, através da avaliação dos efeitos de várias práticas agrícolas e das condições edafoclimáticas sobre o uso de água por esta. O objectivo será sempre o de tentar maximizar T_c e minimizar os usos não benéficos nomeadamente a E_s (Paredes *et al.*, 2015a). O modelo SIMDualKc, já foi calibrado e validado para vários tipos de clima e de culturas não regadas incluindo pastagens, em solos vulcânicos na ilha Graciosa nos Açores (Paço *et al.*, 2016), ou em pastagens dependentes de lençóis freáticos pouco profundos na região do Horquin na Mongólia (Wu *et al.*, 2016). Os resultados de diversos estudos realizados em condições edafoclimáticas e em culturas distintas permitem concluir que este modelo quando bem parametrizado tem a capacidade para calcular de forma adequada o balanço hídrico e deste modo a humidade do solo durante o ciclo de desenvolvimento das culturas (e. g. Paço *et al.*, 2012; 2014; Paredes *et al.*, 2018b). Assim, considerou-se que o modelo apresentava as condições adequadas ao presente estudo.

O modelo foi estruturado seguindo uma arquitectura desenvolvida em três camadas (figura14): 1) Interface gráfica bastante intuitiva para o utilizador; 2) uma base de dados que armazena e recupera informações relativas ao clima, propriedades hidráulicas do solo, características da cultura, ascensão capilar, parâmetros de percolação profunda e simulação de escoamento superficial, coberturas vegetais activas, *mulches*, salinidade, características dos sistemas de rega e dados representativos do campo usados para simular condições específicas; e 3) um modelo computacional cujo procedimento de cálculo se encontra separado da base de dados tornando bastante fácil ligar esta aplicação a diferentes bases de dados (Rosa *et al.*, 2012a), inclusivamente bases georeferenciadas (Benyahia, 2017).

Os dados climáticos de entrada incluem os dados diários de precipitação assim como os dados necessários ao cálculo da ET_0 usando a metodologia da FAO-PM (Allen *et al.*, 1998). No entanto, quando previamente estimada ou medida, a ET_0 pode ser directamente introduzida na base de dados.

A caracterização do solo é efectuada mediante a introdução dos dados relativos ao teor de água à capacidade de campo (θ_{FC}) e ao coeficiente de emurchecimento (θ_{WP}) ou em alternativa os valores da água disponível total em cada camada de solo (TAW, mm m⁻¹) para cada camada do solo. Adicionalmente, o utilizador terá de definir a profundidade da camada evaporativa (Z_e , m) e introduzir os valores da água facilmente evaporável (REW, mm) e o total de água evaporável (TEW, mm) ou em alternativa, estimar os valores de REW e TEW usando os valores do θ_{FC} , do θ_{WP} e as percentagens de areia grossa, areia fina e argila relativos à camada evaporativa. TEW representa a quantidade máxima de água que pode ser evaporada da camada superficial do solo quando completamente húmida. REW representa a quantidade máxima de água que pode ser evaporada sem restrições das disponibilidades de água sendo apenas limitada pela energia disponível à superfície do solo (Rosa *et al.*, 2010; Paredes *et al.*, 2015a).

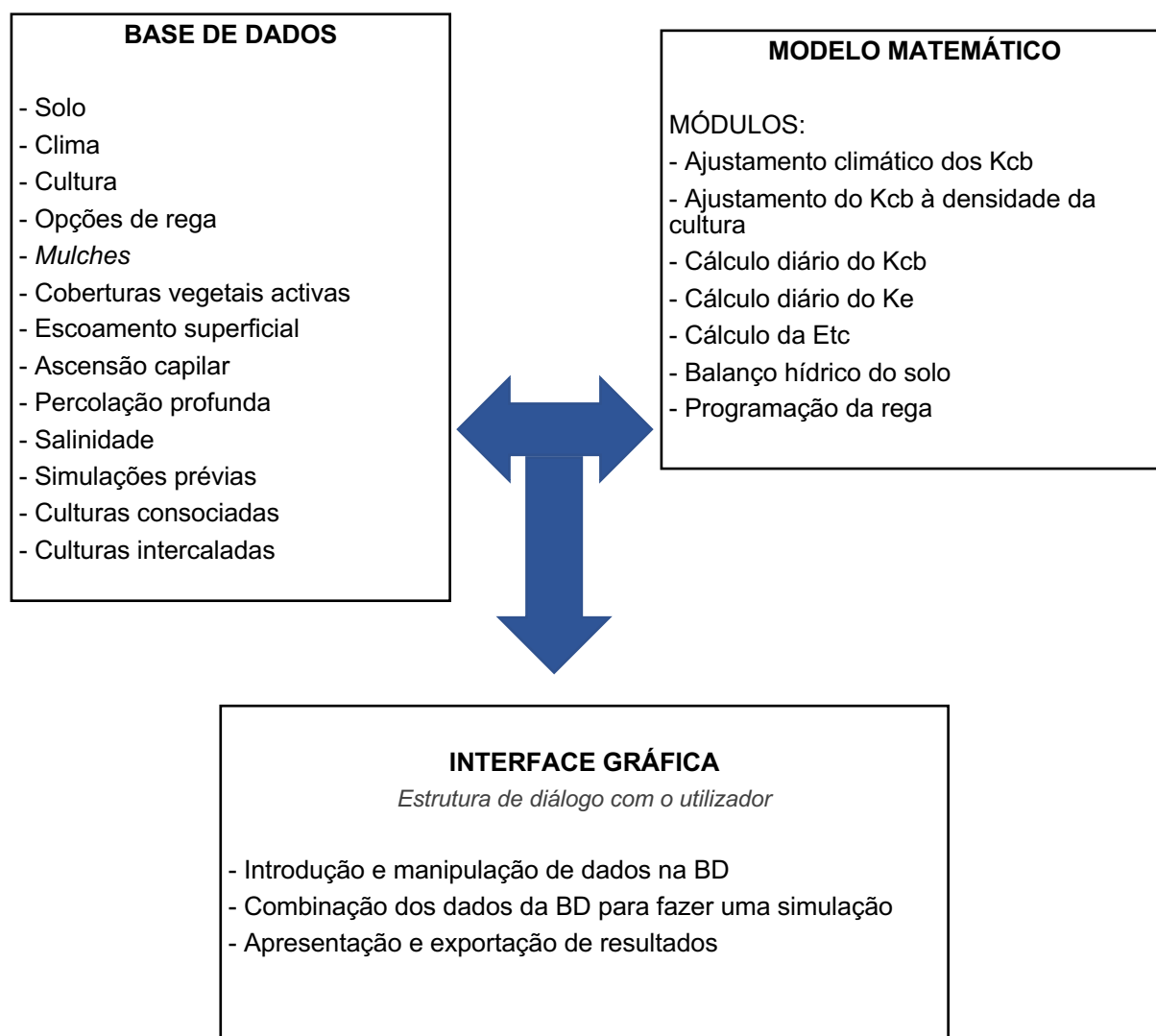


Figura 14 - Estrutura do modelo SIMDualKC, adaptado de Rosa *et al.*, 2012a.

A parametrização da cultura inclui dados sobre as datas dos estágios de desenvolvimento da cultura, profundidade radicular (Z_r , m), altura da cultura (h , m) e fracção de esgotamento da água do solo em conforto hídrico (p), para as mesmas datas de desenvolvimento da cultura. A fracção p corresponde ao limiar de uma cultura a partir do qual ocorrerá stresse hídrico o qual pode variar de 0,05 a 0,95 (Allen et al., 1998). A caracterização da cultura incluiu adicionalmente a introdução dos valores observados de índice de área foliar (LAI) ou de fracção de cobertura do solo pela cultura (f_c) para as fases de desenvolvimento da cultura ou em alternativa introduzir valores para datas específicas ao longo do ciclo da cultura. A parametrização é finalizada com a introdução dos valores do coeficiente cultural de base (K_{cb}), para os três estádios de desenvolvimento, i.e., K_{cb} inicial, intermédio e final.

Os valores padronizados de K_{cb} para condições de clima sub-húmido com valores médios nos períodos intermédio e final de humidade relativa mínima (RH_{min}) e velocidade do vento (u_2) de 45% e 2 m s^{-1} respectivamente, encontram-se tabelados por Allen et al., (1998, 2007) e Allen e Pereira (2009). O modelo permite fazer o ajustamento dos valores $K_{cb \text{ mid}}$ e $K_{cb \text{ end}}$ às condições ambientais quando RH_{min} e u_2 diferem dos valores referidos usando a seguinte equação:

$$K_{cb} = K_{cb \text{ (tab)}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (8)$$

Sendo $K_{cb \text{ (tab)}}$ o valor padronizado tabelado e h a altura média da cultura durante os mesmos períodos, intermédio e/ou final (Rosa et al., 2012; Paredes et al., 2015a).

A parametrização do modelo relativa ao cálculo da ascensão capilar não foi utilizada no presente estudo uma vez que a toalha freática é muito profunda ($>20 \text{ m}$). No cálculo da percolação profunda foi utilizada a opção relativa á equação paramétrica proposta por Liu et al. (1998). Para o caso do escoamento superficial utilizou-se o método do número curva (NC) seleccionados a partir das tabelas de Allen et al. (2007). Mais informação sobre as opções existentes no modelo são descritas por Rosa et al. (2010, 2012a).

A evaporação a partir da camada superficial do solo húmido é representada pelo coeficiente de evaporação do solo (K_e). K_e vai ser estimado com base na quantidade de energia disponível na superfície do solo juntamente com a energia consumida pela transpiração da cultura. O coeficiente K_e é calculado pelo modelo através de um balanço hídrico diário realizado na camada superficial do solo. Este balanço hídrico é efectuado tendo em consideração os valores de Z_e , TEW e REW anteriormente descritos.

K_e atinge o seu valor máximo quando esta camada evaporativa se encontra humedecida, a seguir a uma chuvada ou a uma rega (quando aplicada), e simultaneamente, o solo está totalmente exposto à radiação solar directa *i.e.*, o seu ensombramento por uma cultura seja mínimo, o que corresponde ao desenvolvimento inicial em culturas anuais. Nestas condições, K_e fica limitado a $K_{c\ max} - K_{cb}$, sendo que $K_{c\ max}$ corresponde ao valor máximo de K_c , ou seja, ao valor máximo da razão ET_c/ET_o , e portanto, esta condição traduz a partição de energia solar entre a cultura e a superfície do solo (Paredes *et al.*, 2015a).

K_e atinge o seu valor mínimo quando a cultura cobre completamente o solo, e portanto, quando a energia disponível para a evaporação do solo é mínima, correspondendo à fase do período intermédio da cultura. À medida que a camada evaporativa seca, a quantidade de água disponível para a evaporação é menor e o K_e vai sendo gradualmente reduzido. Esta redução pode ser representada recorrendo a um coeficiente de redução da evaporação (K_r), o qual é calculado como:

$$K_e = K_r(K_{c\ max} - K_{cb}) \quad \text{com } K_e \leq f_{ew}K_{c\ max} \quad (9)$$

sendo K_r o coeficiente de redução da evaporação ($\leq 1,0$), $K_{c\ max}$ o valor máximo de K_c a seguir a um evento de rega ou precipitação e f_{ew} a fracção de solo assim humedecida e exposta à radiação solar, dependente da fracção de solo sombreada pela cultura ou coberta (f_c) (Paredes *et al.*, 2015a).

O modelo SIMDualKc vai então calcular K_r , segundo a metodologia bifásica como descrita por Rosa *et al.*, (2012), segundo duas fases: a primeira em que a evaporação é limitada apenas pela energia disponível, e a segunda em que a evaporação é limitada pela água disponível na camada evaporativa onde se encontra a água evaporável, diminuindo à medida que a água nesta camada fica abaixo da REW.

Como anteriormente referido em condições de stress hídrico a ET é afectada pelo coeficiente de stresse hídrico (K_s), o qual é calculado utilizando a aproximação descrita por Allen *et al.*, (1998). O modelo considera que uma cultura se encontra sob stresse hídrico, quando a disponibilidade de água no solo começa a limitar a transpiração. Existe assim a fracção de água no solo facilmente utilizável (RAW) ou fracção de água do solo que pode ser extraída sem produzir quebra de rendimento que corresponde ao limiar de água no solo a partir do qual uma cultura entrará em stresse hídrico. Nestas condições, o valor de K_{cb} é reduzido pelo K_s o qual é calculado:

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-p)TAW} \quad \text{se } D_r > RAW \quad (10)$$

$$K_s = 1 \quad \text{se } D_r > RAW \quad (11)$$

onde TAW (mm) é a água disponível total na zona radicular, RAW (mm) é a quantidade de água facilmente disponível para as plantas na mesma zona, p (adimensional) é a fracção de esgotamento da água no solo em conforto hídrico e D_r é a depleção de água disponível na zona radicular (Rosa *et al.*, 2012).

Assim, o modelo SIMDualKc vai calcular K_s através do balanço hídrico diário da zona radicular expresso em termos de depleção de água do solo como:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,act,i} + DP_i \quad (12)$$

sendo: $D_{r,i}$ é a depleção de água na zona radicular no fim do dia i (mm), $D_{r,i-1}$ é a depleção de água na zona radicular no fim do dia $i-1$ (mm); P_i é a precipitação (mm), RO_i o escoamento superficial (mm), I_i é a altura de rega infiltrada no solo (mm), CR_i é a ascensão capilar de água a partir de uma toalha freática (mm), $ET_{c,i}$ é a evapotranspiração cultural (mm), e DP_i é a perda de água por percolação profunda (mm), com todas variáveis referentes ao dia i . A ascensão capilar (CR_i) e a percolação profunda (DP_i) são estimadas pelo modelo usando as aproximações anteriormente referidas (Rosa *et al.*, 2012; Paredes *et al.*, 2015a). Como anteriormente referido, no presente estudo considerou-se $CR = 0$ uma vez que a toalha freática se encontra a mais de 20 m de profundidade.

Este balanço hídrico, permite avaliar o uso de água diário pela cultura, tendo em conta os parâmetros de entrada e de saída do modelo, que se apresentam em seguida na figura 15. Assim, será possível estimar a $ET_{c,act}$, objectivo deste trabalho, usando para esta determinação, o balanço hídrico efectuado para a parcela em estudo.

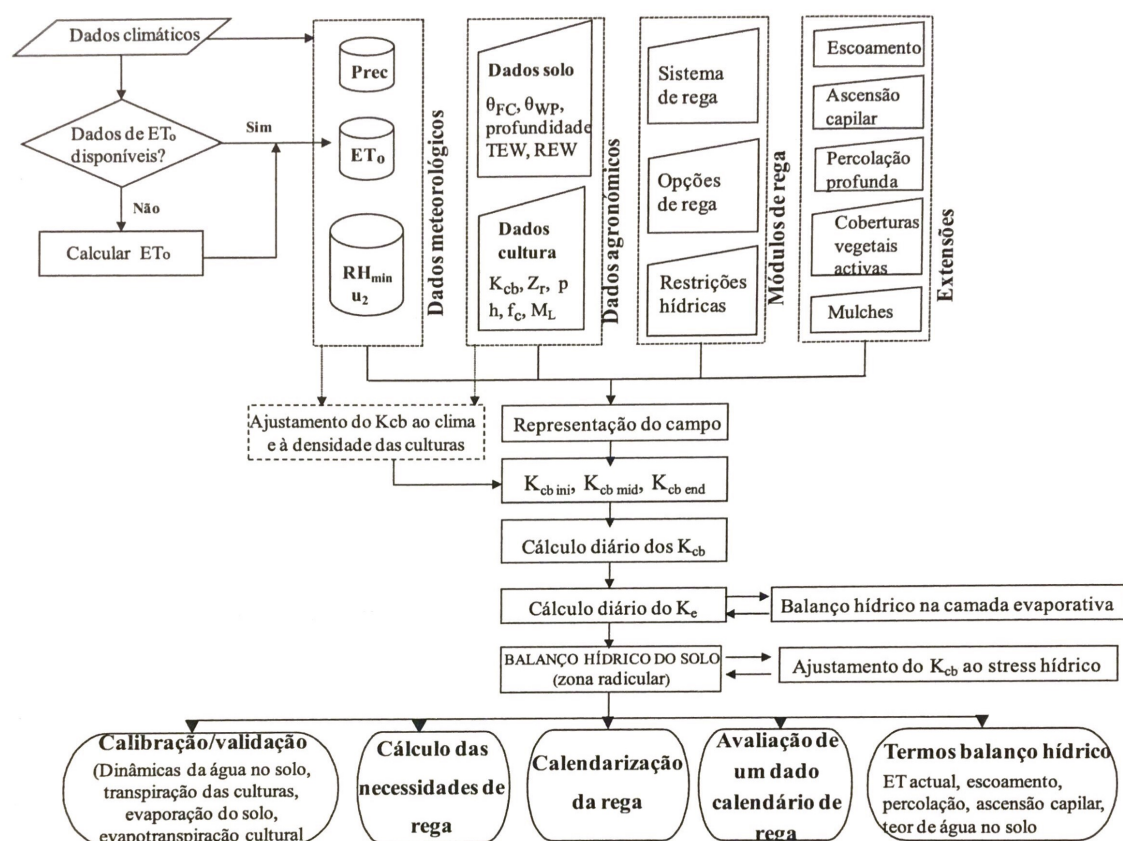


Figura 15 - Fluxograma do modelo SIMDualKc (Fonte: Paredes et al. 2015a).

3.2.2. Procedimentos de parametrização e teste do modelo

Para que o modelo SIMDualKc realize a simulação operando os cálculos descritos em 2.4.2, é necessário introduzir os dados de entrada (*inputs*) no modelo, anteriormente referidos e listados em Rosa et al., (2012a).

Os dados meteorológicos diários (secção 3.1.2), foram introduzidos no modelo, assim como a ET_0 , obtida como descrito na secção 2.4.1. Também foram introduzidos os dados da cultura medidos durante o ciclo: a profundidade radicular, Z_r (m), a altura da cultura (m), e a fracção de cobertura do solo (f_c), em cada um dos estádios de desenvolvimento da cultura, como apresentado no quadro 5:

Quadro 5 – Dados de entrada da cultura observados e medidos durante o ensaio

| Estádio de desenvolvimento | Data | Profundidade radicular (Z_r , m) | Altura da cultura (h, m) | Fracção de cobertura do solo (f_c , %) |
|---|------------|-------------------------------------|--------------------------|---|
| Sementeira | 29-10-2016 | 0,20 | 0,00 | 0,00 |
| Início do período de crescimento rápido | 21-11-2016 | 0,20 | 0,20 | 0,10 |
| Início do período intermédio | 16-02-2017 | 0,50 | 0,75 | 1,00 |
| Início do período final | 20-04-2017 | 0,50 | 1,00 | 0,95 |
| Corte | 07-05-2017 | 0,50 | 1,50 | 0,80 |

Foram introduzidos no modelo os dados de textura e propriedades hidráulicas do solo, constantes no quadro 3. A água disponível total em cada camada de solo, TAW (mm m^{-1}) foi calculada a partir do teor de água à capacidade de campo (θ_{FC}) e ao coeficiente de emurchecimento (θ_{WP}), obtendo-se uma TAW para a profundidade de 0,80 m do solo de 67 mm. A partir das características do solo referidas anteriormente, e definindo uma $Z_e = 0,10$ m, o modelo estimou os parâmetros REW = 9 mm e TEW = 17 mm.

Todos os parâmetros não observados, foram ajustados dentro de intervalos de variação considerados razoáveis. O conjunto de dados de água no solo observados no ano agrícola de 2016/2017 foi dividido em dois conjuntos independentes de dados, um conjunto foi usado para ajustar os parâmetros do modelo (29/10/2016 a 19/02/2017) e o segundo conjunto (20/02/2017 a 07/05/2017) serviu para testar esses parâmetros. O processo de simulação realizou-se segundo um procedimento de tentativa-erro, a fim de minimizar a propagação de erros e de modo a que as estimativas devolvidas pelo modelo fossem realistas e consistentes com as observações efectuadas (Paredes *et al.*, 2015a; Pereira *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2016). Para o processo de ajustamento dos parâmetros por tentativa-erro, foram então efectuadas as primeiras simulações. Assim, para a realização deste processo, introduziram-se os parâmetros observados já referidos, e ajustaram-se os restantes parâmetros escolhidos de acordo com valores tabelados em Allen *et al.*, (1998), ou calibrados em trabalhos realizados em pastagens, sendo estes:

- Os parâmetros da cultura (K_{cb} , p): Para os coeficientes K_{cb} começou-se por usar um valor de $K_{cb \text{ ini}} = 0,15$ um pouco inferior tanto ao tabelado, como ao usado em outros trabalhos para pastagens e forragens perenes (Wu *et al.*, 2016; Paço *et al.*, 2016),

sendo no entanto consistente com o tabelado para cereais; e $K_{cb\ mid} = 1,05$ ($K_{cb\ end}$ iguala-se a este na calibração, uma vez que se “partiu” o ciclo em dois conjuntos). Este valor de $K_{cb\ mid}$ é elevado relativamente ao valor tabelado para pastagens mas que é um valor intermédio ao valor para gramíneas como o azevém para feno e os cereais. Para a fracção de esgotamento da água do solo em conforto hídrico (p), tomou-se inicialmente o valor de $p = 0,6$, igual ao valor tanto tabelado, como usado nos trabalhos referidos anteriormente para pastagens.

- Dados da percolação profunda: Foram introduzidos os parâmetros para as equações paramétricas definidas em Liu *et al.*, (2006), a_D e b_D , sendo que o primeiro é um valor de armazenamento intermédio entre θ_{FC} e θ_s e o segundo $b_D < -0,0173$ no caso de solos que drenam rapidamente e $b_D > -0,0173$ no caso de solos que drenam mais lentamente. Assim, utilizaram-se como valores iniciais, de $a_D = 350$ e de $b_D = -0,0173$.
- Dados do escoamento superficial: São calculados a partir dos parâmetros do método do número de curva ou de escoamento e foi primeiramente seleccionado um valor de NC de 72, valor inicial usado para solos de textura média cultivados com cereais (Paredes *et al.*, 2015a).

Nas primeiras simulações apenas se foi ajustando progressivamente os parâmetros da cultura (K_{cb} , p), mantendo-se os outros parâmetros constantes. Quando os erros de estimação atingiram valores razoavelmente satisfatórios, foram considerados os outros parâmetros, e realizadas novas simulações com estes até que os valores dos erros de estima do teor de água no solo SWC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) fossem minimizados e estabilizados.

Para o teste do modelo foi utilizado o segundo conjunto de dados e os valores anteriormente ajustados de K_{cb} , p , TEW, REW, Z_e , a_D , b_D e NC ajustados anteriormente para simular a parte restante do ciclo, acrescentando-se ainda um valor inicial de $K_{cb\ end} = 0,65$; este valor de $K_{cb\ end}$ é intermédio entre o que está tabelado para cereais e pastagens. Estabelecendo-se as condições iniciais de depleção da camada evaporativa e da zona de raiz efectiva iguais às observadas no dia em que se iniciou esta segunda fase do ciclo da consociação. O processo de ajustamento-teste foi considerado satisfatório quando a qualidade de ajuste dos indicadores relativos ao teste do modelo se aproximou da dos indicadores relativos ao ajustamento não variando mais de 20% (e. g. Paredes *et al.*, 2015a; Pereira *et al.*, 2015).

3.2.3. Indicadores estatísticos de avaliação do modelo

Para avaliar a precisão do modelo SIMDualKc em termos da qualidade do ajustamento da predição do modelo em relação às observações do teor de água no solo (SWC), foram usadas estratégias qualitativas e estatísticas. Assim, efectuou-se a representação gráfica dos valores simulados e observados de SWC ao longo do ciclo da consociação forrageira, usando-se adicionalmente um conjunto de indicadores estatísticos de ajustamento para avaliar a precisão do modelo durante o teste do mesmo. A qualidade do ajustamento foi avaliada tendo em conta os indicadores que se apresentam em seguida, sendo que O_i e P_i ($i = 1, 2, \dots, n$) representam respectivamente, os pares de valores observados e simulados de SWC, e \bar{O} e \bar{P} os respectivos valores médios (Ma *et al.*, 2011; Paredes *et al.*, 2105a; Martins *et al.*, 2017):

- i. O coeficiente de uma regressão linear (b_0) forçada à origem entre os valores observados (O_i) e simulados pelo modelo (P_i), sendo que valores próximos de 1,0 indicam que os valores simulados estão estatisticamente próximos dos observados:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n O_i P_i}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad (13)$$

- ii. O coeficiente de determinação (R^2) da regressão por mínimos quadrados ordinários entre valores P_i e O_i , onde o valor de 1,0 significa que a maior parte da variância dos valores observados é explicada pelo modelo:

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{0,5} [\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2]^{0,5}} \right\}^2 \quad (14)$$

- iii. A raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE, mm), que reflecte a diferença média entre os valores observados e os simulados:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (15)$$

- iv. O rácio da RMSE pela média das observações (NRMSE, mm), em que NRMSE = 0 % indica uma correspondência perfeita entre os valores observados e os simulados sendo o objectivo o de obter o menor valor de NRMSE:

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (16)$$

- v. O viés percentual (PBIAS, %) (Gupta et al., 1999) o qual mede a tendência média dos valores simulados serem maiores ou menores do que as suas observações correspondentes, sendo que o valor ótimo é PBIAS = 0,0 e quanto mais próximo PBIAS for deste valor, maior a precisão do modelo. Valores positivos ou negativos indicam que o valor observado é respectivamente sub- e sobre-estimado:

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (17)$$

- vi. A eficiência de modelação (EF) (Nash e Sutcliffe, 1970) é uma medida do desvio entre os valores simulados no modelo em relação à dispersão dos dados observados, sendo que EF = 1,0 indica uma correspondência perfeita entre as simulações e as observações:

$$EF = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (18)$$

3.3. Estimativa da produção

Para estimar a produção, foi usada a combinação do modelo SIMDualKc com o modelo de água-produção de Stewart modificado (2). Assim, o modelo SIMDualKc após ajustamento dos parâmetros forneceu os dados de transpiração máxima (T_c), e da transpiração real ($T_{c\ act}$) e consequentemente os valores de T_d , com $T_d = T_c - T_{c\ act}$. A produção máxima (Y_m) foi calculada pelo método Agro-ecological zone (AEZ) que se encontra descrita em Doorenbos e Kassam (1979), sendo que para o factor de resposta de água-produção se tomou o valor $K_y = 0,8$ com base no mesmo documento, porque não foram encontrados estudos em que este factor tenha sido derivado para consociações forrageiras ou pastagem de gramíneas e leguminosas ou para alguma das espécies da consociação forrageira em estudo. O valor usado, é assim um valor intermédio entre a luzerna (*Medicago sativa* L.), ($0,7 < K_y < 1,1$) e o trigo de Inverno, *Triticum* spp. ($K_y = 1,0$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da cultura forrageira

4.1.1. Composição florística e produção média nas diferentes fases de cobertura vegetal

Depois de efectuadas as 4 amostragens na consociação forrageira, foi efectuada a separação botânica por identificação das espécies. Nos quadros seguintes estão apresentados os resultados obtidos em cada uma das amostragens. Todas as espécies encontradas não pertencentes às mencionadas, foram consideradas infestantes da consociação, e colocadas no grupo “outras espécies”, nas 3 primeiras amostragens.

1ª Amostragem:

Quadro 6 - Resultados obtidos na 1ª recolha de biomassa vegetal efectuada a 28/11/16, 31 dias após a sementeira e quando a percentagem de cobertura vegetal atingiu os 10%.

| | | Amostra A | | Amostra B | | Amostra C | | Média | |
|-----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-------------|------------|
| | | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. (g) | M. S. (g) |
| | | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | | |
| Gramíneas | Triticale | 13,6 | 2,5 | 75,1 | 12,6 | 30,8 | 5,7 | 39,8 ± 31,7 | 6,9 ± 5,2 |
| | Azevém | 30,4 | 6,4 | 40,5 | 7,3 | 34,5 | 7,3 | 35,1 ± 5,1 | 7,0 ± 0,5 |
| Leguminosas | Trevos | 10,0 | 1,6 | 28,8 | 5,3 | 17,4 | 3,3 | 18,7 ± 9,5 | 3,4 ± 1,9 |
| | Ervilhaca | 2,4 | 0,2 | 7,3 | 1,4 | 1,4 | 0,2 | 3,7 ± 3,2 | 0,6 ± 0,7 |
| Outras Espécies | | 1,2 | 0,2 | 2,4 | 0,5 | 2,0 | 0,5 | 1,9 ± 0,6 | 0,4 ± 0,2 |
| Total | | 57,6 | 10,9 | 154,1 | 27,1 | 86,1 | 17,0 | 99,3 ± 49,6 | 18,3 ± 8,2 |

* M.V. e M.S. representam as massas verde e seca respectivamente.

2ª Amostragem:

Quadro 7 - Resultados obtidos na 2ª recolha de biomassa vegetal efectuada a 27/12/16, 60 dias após a sementeira e quando a percentagem de cobertura vegetal atingiu os 50%.

| | | Amostra A | | Amostra B | | Amostra C | | Média | |
|-----------------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|--------------|
| | | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. (g) | M. S. (g) |
| | | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | | |
| Gramíneas | Triticale | 130,1 | 25,7 | 274,1 | 52,3 | 245,6 | 46,4 | 216,6 ± 76,3 | 41,5 ± 14,0 |
| | Azevém | 205,8 | 41,0 | 214,8 | 42,4 | 210,1 | 43,5 | 210,2 ± 4,5 | 42,3 ± 1,3 |
| Leguminosas | Trevos | 66,6 | 11,5 | 79,4 | 13,6 | 78,3 | 14,2 | 74,8 ± 7,1 | 13,1 ± 1,4 |
| | Ervilhaca | 8,3 | 1,6 | 38,0 | 7,2 | 27,4 | 5,5 | 24,6 ± 15,1 | 4,8 ± 2,9 |
| Outras Espécies | | 165,9 | 20,4 | 28,9 | 4,1 | 75,1 | 9,7 | 90,0 ± 70,0 | 11,4 ± 8,3 |
| Total | | 576,7 | 100,2 | 635,2 | 119,6 | 636,5 | 119,3 | 616,1 ± 34,2 | 113,0 ± 11,1 |
| Detritos | | 9,2 | 2,5 | 17,8 | 4,4 | 8,5 | 3,9 | 11,8 ± 5,2 | 3,6 ± 1,0 |

* M.V. e M.S. representam as massas verde e seca respectivamente. Os detritos não são contabilizados para os totais.

3ª Amostragem:

Quadro 8 - Resultados obtidos na 3ª recolha de biomassa vegetal efectuada a 07/02/17, 102 dias após a sementeira e quando a percentagem de cobertura vegetal atingiu os 75%.

| | | Amostra A | | Amostra B | | Amostra C | | Média | |
|------------------------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|----------------|--------------|
| | | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. | M. S. | M. V. (g) | M. S. (g) |
| | | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | | |
| Gramíneas | Triticale | 599,5 | 91,5 | 880,4 | 128,6 | 482,6 | 76,4 | 654,2 ± 204,5 | 98,8 ± 26,9 |
| | Azevém | 534,6 | 75,9 | 918,4 | 118,8 | 530,4 | 77,4 | 661,1 ± 222,8 | 90,7 ± 24,3 |
| Leguminosas | Trevos | 205,2 | 22,9 | 321,7 | 29,0 | 322,3 | 37,0 | 283,1 ± 67,4 | 29,6 ± 7,1 |
| | Ervilhaca | 129,3 | 15,6 | 89,0 | 10,9 | 34,6 | 4,8 | 84,3 ± 47,5 | 10,4 ± 5,4 |
| Outras Espécies | | 262,2 | 22,6 | 340,2 | 27,1 | 263,6 | 24,2 | 288,7 ± 44,6 | 24,6 ± 2,3 |
| Total | | 1730,8 | 228,5 | 2549,7 | 314,4 | 1633,5 | 219,8 | 1971,3 ± 503,2 | 254,2 ± 52,3 |
| Detritos | | 85,7 | 11,8 | 176,2 | 22,0 | 129,2 | 20,1 | 130,4 ± 45,3 | 18,0 ± 5,4 |

* M.V. e M.S. representam as massas verde e seca respectivamente. Os detritos não são contabilizados para os totais.

As 3 primeiras amostragens, correspondentes às coberturas de solo de 10 %, 50 % e 75 %, ocorreram no período de crescimento rápido. No que diz respeito aos estágios de crescimento, as leguminosas (trevos e ervilhaca) encontravam-se no estado vegetativo nas 2 primeiras amostragens, sendo que na terceira o trevo continuava no mesmo estado, mas a ervilhaca já se encontrava no início do abotoamento. As gramíneas na primeira amostragem encontravam-se ambas maioritariamente com 3 folhas, na segunda no afilhamento, sendo que na terceira já estavam no encanamento (com 1º e 2º nós).

Verificou-se que depois da secagem, a MS representava sempre cerca de 20 % da MV, como seria de esperar, à excepção da 3ª amostragem onde esta taxa decresce mais de 5 % em todas as subamostras. Isto talvez se deva ao facto de que nesta fase são grandes as necessidades de água, havendo mais transpiração. Entre a recolha da 2ª amostragem e da 3ª houve um interregno de 43 dias. Neste período não houve precipitação durante cerca de 1 mês (de 27/12/2016 a 26/01/2017), tendo apenas ocorrido precipitação (cerca de 42 mm) durante 4 dias anteriores às colheitas (3 dias entre 26/01 e 31/01 e no dia 05/02).

Durante o período em que foram realizadas estas 3 amostragens, verificou-se que a quantidade percentual de cada espécie, foi em média, sempre mantida embora se notem alterações na quantidade de triticale e trevo que diminuíram e um aumento nas infestantes à mistura (Quadro 9).

Quadro 9 - Resumo das quantidades percentuais em verde de cada espécie nas 3 primeiras amostragens efectuadas.

| | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Amostragem | Amostragem | Amostragem |
| Triticale | 40% | 35% | 33% |
| Azevém | 35% | 34% | 34% |
| Trevos | 19% | 12% | 12% |
| Ervilhaca | 4% | 4% | 4% |
| Outras espécies | 2% | 15% | 15% |

Pode também observar-se que as quantidades presentes na mistura em semente deverão ser 40 % de triticale, 35 % de azevém, 20 % de trevos e 5 % ervilhaca.

Sendo esta uma forragem de corte único, faz sentido do ponto de vista agronómico analisar mais detalhadamente a 4^a amostragem, correspondente ao corte (quadro 10). No quadro 11, apresentam-se as quantidades de biomassa em média, encontradas para cada espécie (kg ha⁻¹), a total (kg ha⁻¹) e o valor percentual encontrado para cada uma das espécies ao corte.

4^a Amostragem:

Quadro 10 - Resultados obtidos na 4^a recolha de biomassa vegetal efectuada a 07/05/17, 191 dias após a sementeira e quando a percentagem de cobertura vegetal atingiu os 100%.

| | | Amostra A | | Amostra B | | Amostra C | | Média | |
|------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| | | M. V. (g) | M. S. (g) | M. V. (g) | M. S. (g) | M. V. (g) | M. S. (g) | M. V. (g) | M. S. (g) |
| Gramíneas | Triticale | 792,6 | 343,7 | 563,8 | 279,7 | 1004,8 | 444,9 | 787,1 ± 220,6 | 356,1 ± 83,3 |
| | Azevém | 597,7 | 287,6 | 640,6 | 383,3 | 873,3 | 414,2 | 703,9 ± 148,3 | 361,7 ± 66,0 |
| Leguminosas | Trevos | 11,8 | 3,8 | 30,2 | 12,9 | 194,6 | 59,4 | 78,9 ± 100,6 | 25,4 ± 29,8 |
| | Ervilhaca | 261,3 | 89,5 | 130,3 | 57,7 | 832,2 | 266,0 | 407,9 ± 373,2 | 137,7 ± 112,2 |
| Outras Espécies | Não tóxicas | 638,1 | 221,9 | 545,2 | 238,9 | 420,3 | 177,8 | 534,5 ± 109,3 | 212,9 ± 31,5 |
| | Tóxicas ou agressivas | 234,1 | 65,1 | 279,4 | 142,4 | 75,6 | 25,0 | 196,4 ± 107,0 | 77,5 ± 59,7 |
| Total | | 2535,6 | 1011,6 | 2189,5 | 1114,9 | 3400,8 | 1387,3 | 2708,6 ± 623,9 | 1171,3 ± 194,1 |
| Detritos | | 240,8 | 160,9 | 226,1 | 164,9 | 227,1 | 135,8 | 231,3 ± 8,21 | 153,9 ± 15,8 |

* M.V. e M.S. representam as massas verde e seca respectivamente. Os detritos não são contabilizados para os totais.

Note-se que neste caso as infestantes foram separadas em “tóxicas e não agressivas” e “não tóxicas”, uma vez que foram encontradas algumas espécies na separação botânica que, ainda que sejam infestantes, podem trazer algum valor nutricional e/ou benefícios do ponto de vista da alimentação animal, como outras espécies de trevo - *Trifolium spp.* e luzerna - *Medicago*

spp, balanço - *Avena sterilis*, alpista tuberosa - *Phalaris tuberosa* L., panasco - *Dactylis glomerata* L., festuca dos prados - *Festuca pratensis* L., sorgo - *Sorghum bicolor* (embora seja uma planta C4 de Verão) e chicória do café - *Cichorium intybus*, que é uma planta considerada medicinal.

Quadro 11 – Quantidades totais de biomassa ao corte e valores percentuais em verde.

| 4ª Amostragem | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| | M.V. (kg ha ⁻¹) | M.S. (kg ha ⁻¹) | % (MV) |
| Triticale | 7871 | 3561 | 29 |
| Azevém | 7039 | 3617 | 26 |
| Trevos | 789 | 254 | 3 |
| Ervilhaca | 4079 | 1377 | 15 |
| Outras espécies não tóxicas | 5345 | 2129 | 20 |
| Outras espécies tóxicas ou agressivas | 1964 | 775 | 7 |
| Total | 27087 | 11713 | 100 |

Verificou-se então, que até ao corte, houve um decréscimo nas gramíneas ainda que não muito acentuado. Quanto às leguminosas, nota-se um aumento significativo de ervilhaca. Esta espécie, embora esteja em menor quantidade na mistura tem tendência a registar grandes ganhos de biomassa ao longo do ciclo. Os trevos no entanto, “desapareceram” da consociação entre a 3ª e o 4ª amostragem. Este facto pode dever-se ao défice hídrico que se fez sentir durante o ciclo, em particular na Primavera, sendo que os trevos têm uma menor capacidade de competir com as outras espécies pela água e nutrientes. Além disso, nesta mistura, são eleitas variedades mais tardias destas espécies para garantir maior qualidade entre o fim de Abril e o início de Maio, e portanto, estas terão maiores necessidades de água na Primavera para garantirem esse desenvolvimento final (Fertiprado, comunicação pessoal). As infestantes também aumentaram significativamente a sua biomassa, no entanto apenas 7 % destas são tóxicas ou agressivas, o que na prática é bastante satisfatório, e ilustra os benefícios das praticas de gestão utilizadas, como por exemplo o pousio.

No geral, considera-se que os dados da evolução de grupos de espécies, e tendo em conta o ano seco que se fez sentir, bastante fiáveis e justificáveis. Num ano mais semelhante à média (ou mais húmido), as outras espécies ou infestantes, deveriam decrescer ao longo do ciclo, devido à competitividade das espécies da consociação, esperando-se que as percentagens finais de trevo e infestantes estivessem trocadas (Fertiprado, comunicação pessoal).

Consideram-se os resultados muito satisfatórios no geral, uma vez que 73 % da biomassa recolhida pertence à consociação semeada (figura 16). Tendo em conta as outras espécies encontradas, verificou-se que estas são de certa forma interessantes do ponto de vista agronómico para a nutrição animal, podendo-se dizer-se que 93 % do feno obtido apresenta qualidade nutricional para o efectivo pecuário.

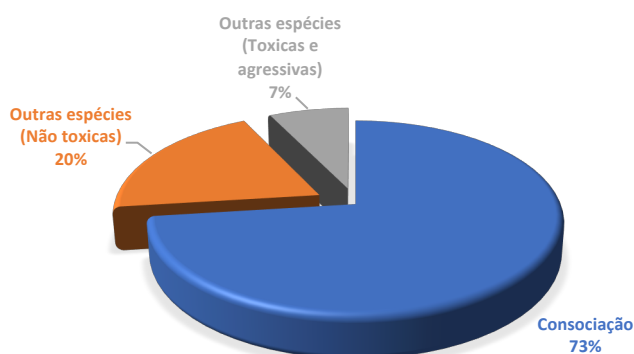


Figura 16 - Gráfico sumário dos resultados obtidos na 4ª amostragem (corte).

4.1.2. Estimativa das fases do ciclo da consociação baseado na acumulação térmica (GDD)

No quadro 12 encontram-se as datas observadas relativas aos diferentes estágios de desenvolvimento da consociação no ano de 2016/2017, e respectiva acumulação térmica registada em cada fase do ciclo, e calculada pela equação (1). A partir destes valores, foram estimadas as datas das distintas fases do ciclo para o ano de 2015/2016. Uma aproximação semelhante foi efectuada para a elaboração dos cenários alternativos relativos às datas de sementeira. Todos os resultados estão apresentados no Anexo III.

Quadro 12 – Fases do ciclo e acumulação térmica, segundo as observações efectuadas no ano agrícola de 2016/2017

| | Sementeira | Início do período de crescimento rápido | Início do período intermédio | Senescência/ início do período final | Colheita |
|------------------|------------|---|------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Data | 29/10/2016 | 21/11/2016 | 16/02/2017 | 20/04/2017 | 07/05/2017 |
| AGDD (°C) | - | 214,9 | 615,5 | 1173,15 | 1369,5 |

* AGDD é o índice de graus-dia de crescimento (°C)

4.2. Parametrização e teste do modelo SIMDualKC

Após o processo de parametrização-validação descrito em 3.2.2, obtiveram-se os valores dos parâmetros da cultura, solo, percolação profunda e escoamento superficial que se apresentam no quadro 13:

Quadro 13 – Valores iniciais e ajustados dos coeficientes culturais basais (K_{cb}), fracção de esgotamento da água no solo em conforto hídrico (p), parâmetros de evaporação do solo (Z_e , REW e TEW), de escoamento superficial (CN) e de percolação profunda (a_D e b_D).

| Parâmetros da cultura | Valor inicial | Valor ajustado |
|---|---------------|----------------|
| $K_{cb\ ini}$ | 0,15 | 0,15 |
| $K_{cb\ mid}$ | 1,05 | 0,95 |
| $K_{cb\ end}$ | 0,65 | 0,55 |
| p | 0,60 | 0,60 |
| Evaporação do solo | | |
| $REW\ (mm)$ | 9,00 | 9,00 |
| $TEW\ (mm)$ | 17,0 | 17,0 |
| $Z_e\ (m)$ | 0,10 | 0,10 |
| Escoamento superficial (CN) | 72 | 75 |
| Percolação profunda | | |
| a_D | 350 | 335 |
| b_D | -0,0173 | -0,0173 |

** Z_e é a profundidade da camada evaporativa, REW é a água facilmente evaporável e TEW o total de água evaporável*

Os resultados da simulação relativa à dinâmica do teor de água no solo (SWC) incluindo os dados observados encontram-se apresentados na figura 17. Verifica-se que não existe uma tendência do modelo para a sub- ou sobre-estima dos valores observados de teor de água do solo ao longo do ciclo da consociação forrageira.

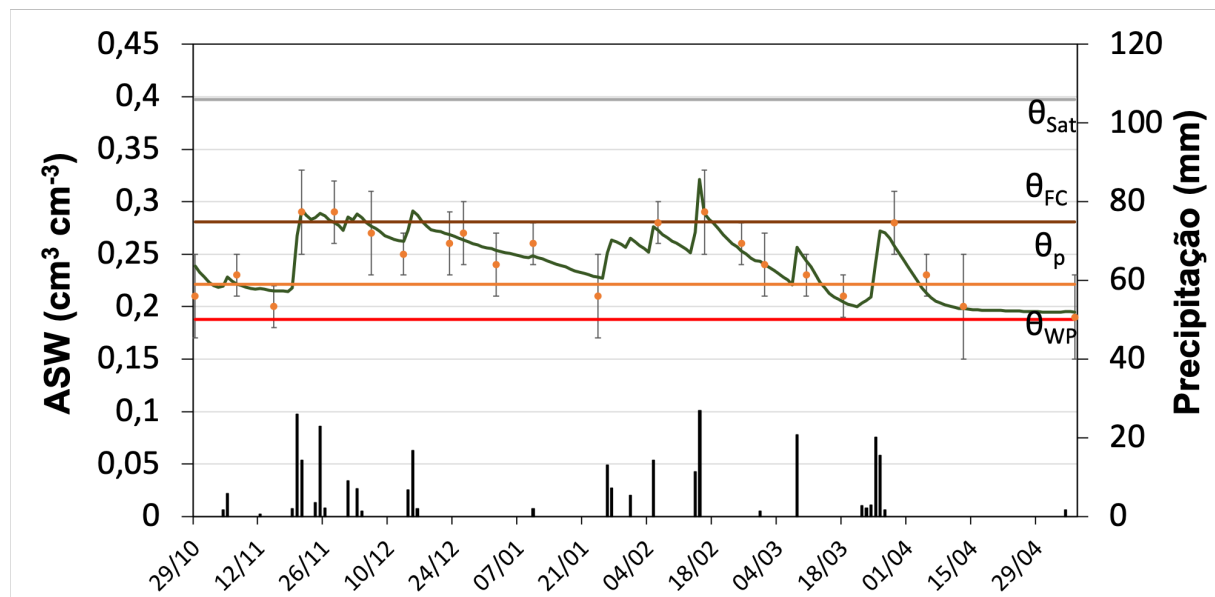


Figura 17 – Dinâmica do teor de água no solo na zona radicular (SWC) simulada — e observada • da consociação, em regime de sequeiro (precipitação ■), usando o SIMDualKc no ano agrícola de 2016/2017. As barras de erro indicam o desvio padrão nas observações de SWC. θ_{sat} , θ_{FC} , θ_{WP} e θ_p representam respectivamente os teores volumétricos de água no solo à saturação, à capacidade de campo, ao emurchecimento permanente e no limite de stress hídrico.

Os resultados mostram a ocorrência de um ligeiro stress hídrico no início do ciclo, sem grande relevância devido à fase precoce do ciclo e também porque foi seguido de alguns eventos de precipitação, que embora em pequeno número e sem nunca ultrapassar os 26 mm dia⁻¹ foram suficientes para manter níveis de SWC quase sempre próximos da capacidade de campo e sempre acima da fracção de esgotamento de água no solo ou limite de stress hídrico (θ_p) até cerca de metade do mês de Março. A partir daqui, houve um decréscimo do teor de água no solo, e consequente entrada em stress hídrico prolongado devido à falta de precipitação, e embora tenha havido um evento de precipitação no fim do mês, este não foi suficiente para manter o SWC acima de θ_p , tendo chegado ao fim do ciclo com valores muito próximos do coeficiente de emurchecimento θ_{WP} .

O quadro 145 mostra os indicadores de precisão dos ajustamentos para todos os conjuntos de dados simulados.

Quadro 14 – Indicadores estatísticos relativos ao ajustamento, teste e à modelação do ciclo completo da cultura com os parâmetros ajustados.

| | b_0 | R^2 | PBIAS (%) | RMSE ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) | NRMSE (%) | EF |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------|---|-----------|------|
| Ajustamento* | 1,01 | 0,87 | - 1,65 | 0,012 | 5 | 0,83 |
| Teste** | 0,96 | 0,93 | -3,43 | 0,012 | 5 | 0,85 |
| Ciclo completo (2016/2017) | 1,00 | 0,85 | - 0,47 | 0,012 | 5 | 0,85 |

b_0 e R^2 são os coeficientes de regressão e determinação; PBIAS o viés percentual; RMSE a raiz quadrada do erro médio quadrático; NRMSE o rácio da RMSE pelo desvio padrão das observações; EF a eficiência de modelação; *relativo ao período de 29/10/2016 a 19/02/2017; **relativo ao período de 20/02/2017 a 07/05/2017.

Os resultados mostram que tanto no ajustamento como no teste, os coeficientes de regressão (b_0), são próximos de 1. O coeficiente de determinação é elevado no caso do ajustamento e do teste, sendo 0,87 e 0,93 respectivamente. Pode assim dizer-se que a maior parte da variância total dos valores observados de SWC pode ser explicada pelo modelo. O viés percentual PBIAS encontra-se próximo de 0,0 mais no ajustamento do que no teste, indicando precisão do modelo, principalmente no ajustamento. Verificando-se no entanto, uma ligeira subestima dos valores de SWC simulados. Os erros de estima são baixos com um RMSE de $0,012 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, igual para o ajustamento e para o teste os quais representam 5% da média do SWC observado. Finalmente a eficiência de modelação encontra-se próxima de 1,0 em ambos os conjuntos de dados usados para o teste e ajustamento, sendo de 0,83 e 0,85 respectivamente, mostrando uma boa correspondência entre as simulações e as observações.

Os dados relativos à simulação do ciclo completo com todos os dados ajustados, mostram um coeficiente de regressão $b_0 = 1,0$ e um coeficiente de determinação $R^2 = 0,85$, sendo possível concluir que a maior parte da variância total dos valores observados de SWC pode ser explicada pelo modelo. O viés percentual (PBIAS) foi de - 0,47% indicando boa precisão do modelo embora indique também que os valores de SCW simulados foram subestimados. O valor de NRMSE = 5% mostra uma correspondência quase perfeita entre os valores simulados e observados de SWC e a eficiência de modelação, EF = 0,85 mostra também uma boa correspondência entre as simulações e as observações. Pode deste modo afirmar-se que o modelo foi capaz de simular de forma satisfatória a dinâmica de água no solo ao longo de todo o ciclo, sem nenhuma tendência na estimação de SWC e sendo portanto adequado à sua predição.

Os resultados acima apresentados permitiram aferir sobre o adequado ajustamento do modelo pelo que este poderá ser aplicado a outras condições climáticas. Na sequência, o modelo foi aplicado ao ano agrícola de 2015/2016. Na figura 19 encontram-se as dinâmicas do teor de água no solo para esse ano.

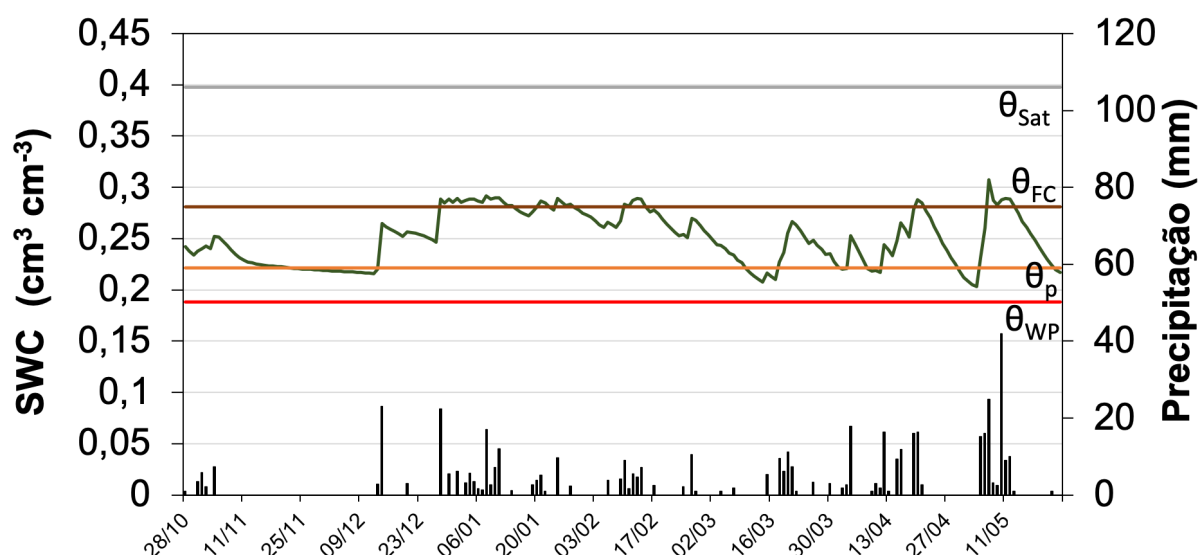


Figura 18 - Simulação do teor de água no solo na zona radicular (SWC) — da consorciação, em regime de sequeiro (precipitação ■), usando o SIMDualKc no ano agrícola de 2015/2016. θ_{sat} , θ_{FC} , θ_{WP} e θ_p representam respectivamente os teores volumétricos de água no solo à saturação, à capacidade de campo, ao emurchecimento permanente e no limite de stress hídrico.

Os resultados da simulação para este ano mais húmido, revelam algum stress hídrico no início do ciclo até cerca de metade da fase de crescimento rápido, devido ao Outono ter sido um pouco seco. No entanto, a partir daqui e até ao final do ciclo, ocorreram bastantes eventos de precipitação e em abundância (principalmente na Primavera), o que levou a que a quantidade de SWC fosse mantida quase sempre próxima da capacidade de campo (e até acima em alguns períodos) e quase sempre acima do limite de stress hídrico (θ_p), embora se tenham verificado valores abaixo deste limite em duas situações, o que talvez se deva ao facto das temperaturas mais altas que se fizeram sentir nestas datas.

4.3. Dinâmica dos coeficientes culturais de base e de evaporação do solo

Como anteriormente referido o modelo faz a partição da ET nas suas componentes. As dinâmicas dos coeficientes culturais de base e de evaporação do solo simuladas pelo modelo são apresentadas na figura 20 para o ano de estudo (2016/17).

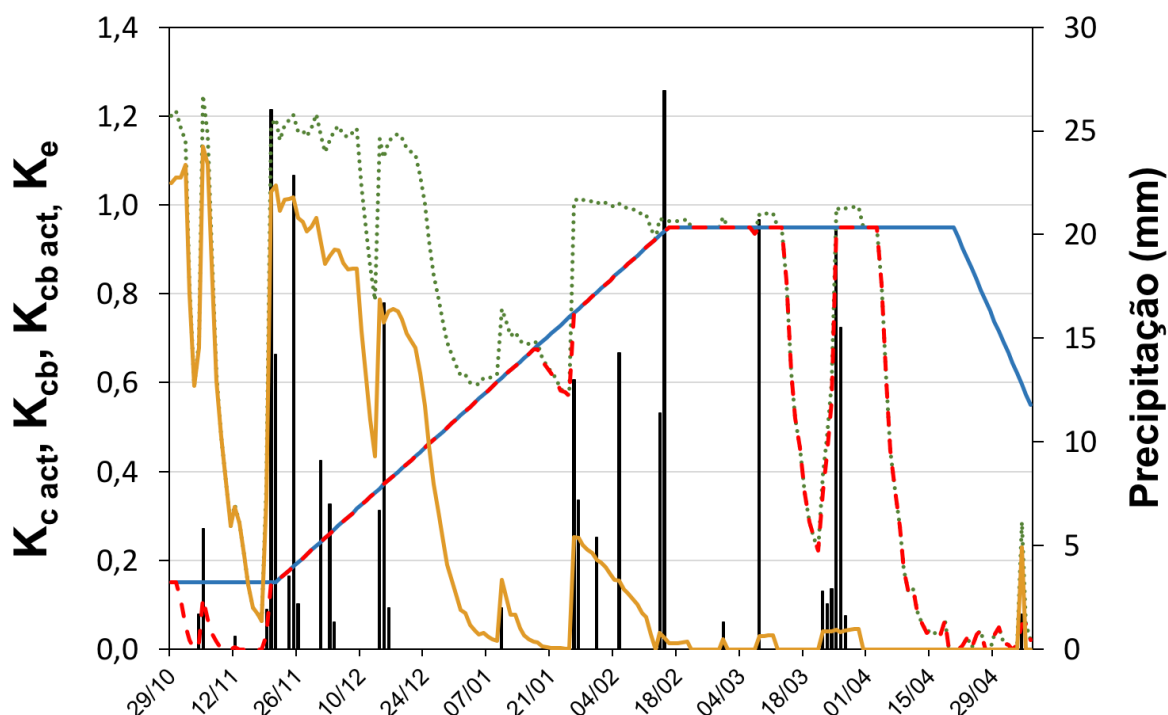


Figura 19 – Curvas dos coeficientes culturais basal actual $K_{c\ act}$ (---), cultural basal potencial K_{cb} (—) cultural basal actual $K_{cb\ act}$ (---), e de evaporação do solo K_e (—) simuladas pelo modelo SIMDualKc, correspondentes à sua variação diária no ano de 2016/2017. Também se encontram representados os eventos de precipitação (■) durante este período.

Verifica-se que o coeficiente cultural de base actual $K_{cb\ act}$ se manteve quase sempre próximo do coeficiente cultural de base potencial K_{cb} , excepto nos períodos em que ocorreu stresse, com maior expressão no início do ciclo em que ocorreu algum stress hídrico e nos últimos dias do ciclo (após 04/04), o que se traduz no elevado decréscimo da curva dos $K_{cb\ act}$ em relação à curva do K_{cb} . Estes períodos de elevado stresse correspondem na figura 17 ao período em que a SWC se desloca para valores abaixo de θ_p , começando posteriormente a ir para valores muito próximos do coeficiente de emurchecimento. O coeficiente de evaporação (K_e) apresenta vários picos nas fases iniciais do ciclo, devido a eventos de precipitação, tornando-se contudo bastante ténues até ao final do ciclo. Isto deve-se ao facto de que após o período de crescimento rápido, o solo já se encontrava coberto na totalidade ($f_c = 1$), no entanto a principal causa foi a quase ausência de eventos de precipitação. De notar um pico quase no final do ciclo, coincidente com uma precipitação de apenas 1,7 mm, que ocorreu

próxima da data de corte, uma vez que a consociação já se encontra senescente e por isso com uma fracção de cobertura do solo mais baixa.

4.4. Uso da água pela consociação forrageira

O uso da água pela consociação forrageira corresponde aos termos do balanço hídrico sendo que os denominados de usos não benéficos correspondem às fracções de água não consumidas e são a evaporação do solo, percolação profunda (DP) e escoamento superficial (RO) (Pereira *et al.*, 2012). No quadro 15 são apresentados os termos do balanço hídrico simulados para os dois anos em estudo.

Dos resultados, pode dizer-se que a percolação profunda tem alguma expressividade no que diz respeito às fracções de água não consumidas pela cultura uma vez que 21 % da precipitação total foi percolada no ano seco (2016/2017), tendo esta percentagem subido para 29 % no ano húmido (2015/2016). A fracção de água perdida por escoamento superficial em ambos os ciclos foi menos relevante, de 6 % da precipitação total no ano seco e 9 % no ano húmido. Os valores mais elevados de DP e RO no ano mais húmido devem-se aos múltiplos e consecutivos eventos de precipitação.

Quadro 15 – Balanço hídrico simulado para a cultura forrageira nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2015/2016

| Ano | P (mm) | Δ SWC (mm) | DP (mm) | RO (mm) | E_s (mm) | $T_{c\ act}$ (mm) | T_c (mm) | $T_{c\ act}/T_c$ (%) | $ET_{c\ act}$ (mm) | $E_s/ET_{c\ act}$ (%) |
|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|---------------|----------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 2016/2017 | 288,4 | 24,7 | 61,7 | 17,7 | 62,4 | 171,3 | 304,5 | 56 | 233,7 | 27 |
| 2015/2016 | 539,4 | 14,7 | 158,8 | 49,9 | 50,5 | 293,8 | 316,8 | 93 | 345,4 | 15 |

* P é a precipitação, Δ SWC a variação da água disponível no solo, DP a percolação profunda, RO o escoamento superficial, E_s a evaporação do solo, $T_{c\ act}$ a transpiração, T_c a transpiração máxima da cultura e $ET_{c\ act}$ a evapotranspiração actual da cultura.

Estes resultados mostram que tanto no ano mais seco, como no ano mais húmido a consociação consumiu a maior fracção da quantidade de água disponível no solo, sendo que a transpiração actual ($T_{c\ act}$), correspondeu a cerca de 59 % da precipitação em 2016/2017 (ano seco) e 54 % da precipitação em 2015/2016 (ano húmido). Verificou-se a ocorrência de stresse hídrico bastante acentuado no ano seco e a quase ausência deste no ano húmido, sendo a razão $T_{c\ act}/T_c$ de 56 % e 93 % respectivamente, uma vez que os eventos de precipitação no ano seco foram escassos e a quantidade de precipitação foi reduzida. A taxa de evaporação foi sempre menor que a transpiração ao longo dos dois ciclos, como se pode verificar pela razão $E_s/ET_{c\ act}$ que foi de 27 % no ano seco e 15 % no ano húmido. No ano seco, tanto os eventos de precipitação como de evaporação do solo ocorreram fundamentalmente até à fase do período de crescimento rápido quando f_c era ainda reduzida pelo que a razão $E_s/ET_{c\ act}$ foi mais elevada. A $E_s/ET_{c\ act}$ mais baixa no ano húmido deve-se ao facto de os eventos de precipitação terem ocorrido na sua maioria no período intermédio, ou seja, a consociação mantinha uma elevada percentagem de cobertura ($f_c = 1$); adicionalmente

muitos eventos de precipitação ocorreram quando as plantas cobriam a totalidade do solo mas já se encontravam senescentes, o que em conjunto provocaram uma taxa de evaporação mais reduzida.

Os resultados obtidos referem-se a duas situações climáticas contrastantes, e portanto os resultados de um ano mais semelhante à média encontrar-se-ão no intervalo entre os valores da razão $E_s/ET_{c\ act}$. Os resultados obtidos para $E_s/ET_{c\ act}$ no presente estudo são comparáveis aos obtidos em outros estudos. Greenwood *et al.*, (2009) relataram uma consociação forrageira regada de trevo da Pérsia com azevém italiano, sendo os valores da razão E_s/ET de 20 %. No estudo para uma pastagem perene de sequeiro nos Açores, de Paço *et al.*, (2016) relataram valores de E_s/ET no intervalo de 11 a 15 %. Estes valores de $E_s/ET_{c\ act}$ num clima húmido apresentam-se relativamente baixos uma vez que a cobertura do solo (f_c) pela pastagem se mantém sempre muito elevada ao longo do ano. Num outro estudo relativo a pastagem perene de sequeiro em clima semi-árido, Wu *et al.*, (2016) apresentaram valores muito mais baixos de E_s/ET , no intervalo de 5 a 12 %, o que foi explicado pelo baixo número de eventos de precipitação e pelo elevado stresse hídrico a que a pastagem foi sujeita ainda que parcialmente compensada pela contribuição do lençol freático. Outros estudos de pastagens de sequeiro apresentam valores um pouco mais altos como no estudo de Dong *et al.*, (2011) em que as pastagens apresentam baixa densidade (f_c entre 0,7 e 0,8) sob um clima temperado semi-árido, sendo a razão E_s/ET durante cada um dos meses de todo o ciclo de crescimento, superior a 33 %. De referir ainda o estudo num clima húmido no Sul do Brasil, onde foi relatada uma E_s/ET para a cultura forrageira perene do Capim Tifon 85, a variar entre 9 e 14 % (Paredes *et al.*, 2018), salientando-se que os baixos valores se devem à elevada f_c ao longo do ciclo da cultura em conjunto com uma baixa energia disponível (radiação) para que a evaporação ocorresse.

Relaciona-se agora o uso de água pela consociação forrageira, no ano em estudo com as amostragens executadas e discutidas no ponto 4.1.1. Assim, e mesmo passando por algum stresse hídrico no início do ciclo, as percentagens de MS em relação à MV obtidas nas 1ª e 2ª amostragens revelam-se adequadas ao esperado (cerca de 20 %), embora tenha havido um ligeiro decréscimo na percentagem de todas as espécies presentes e crescimento de outras espécies infestantes à consociação, sendo que durante quase todo este período o uso de água pela cultura foi inferior à evaporada no solo. Ainda assim, de 25/11/2016 a 27/12/2016 (data da 2ª amostragem), o SWC se tenha mantido sempre muito próximo da capacidade de campo, e portanto a consociação possuiu boa percentagem de humidade ao seu desenvolvimento neste período. Após 26/12/2016 e até ao final do ciclo, a evaporação do solo nunca foi superior à transpiração da cultura. No entanto, estes dois parâmetros mantiveram-

se próximos, pois se por um lado a cobertura pelas plantas era elevada, por outro houve pouca precipitação durante este período e registrando-se temperaturas acima da média mensal de 36 anos (Figura 6), o que resultou em alguma secura nas plantas registrando-se uma percentagem de MS em relação á MV inferior a 15 % nas amostras desta amostragem. Até ao final do ciclo, registaram-se coeficientes de evaporação iguais ou muito próximos de zero, com temperaturas tendencialmente elevadas em comparação com a média mensal de 36 anos (Figura 6), e baixa precipitação, o que se traduziu em períodos de grande stresse hídrico para a cultura. No entanto, pressupõe-se que houve um bom uso da água no solo, sempre que houve disponibilidade, o que é de esperar das espécies em questão, principalmente a ervilhaca de cachos roxos que tem floração mais tardia e prolongada e com isso tirando proveito da disponibilidade de água que possa existir no solo nessa fase, do tritcale que tem capacidade de alta produção de MS em ambientes secos e do trevo vesiculoso, uma vez que também tolera stresse hídrico com facilidade de produção de MS nestas condições. Ao contrário destas espécies, o azevém e o trevo da Pérsia têm preferência por solos mais húmidos, sendo que o segundo cessa o crescimento em presença de vagas de calor e stresse hídrico, ainda que temporariamente, mas que se pressupõe que não tenha continuado neste caso em que houve escassa precipitação e vagas de calor prolongadas, à excepção de algumas plantas. Assim, justifica-se o decréscimo da percentagem de trevos e azevém presentes na mistura ao corte, sendo muito expressivo no caso do trevo, e por outro lado o crescimento da percentagem de ervilhaca. Relativamente ao tritcale, houve um pequeno decréscimo, mas não significativo.

4.5. Modelação da produção de biomassa

Como anteriormente referido, a produção de biomassa foi estudada combinando os modelos SIMDualKc e Stewart. Assim, foram estimados os valores de produção para os dois anos em estudo, 2015/2016 e 2016/2017 sendo respectivamente de 15323 kg ha⁻¹ e 10527 kg ha⁻¹. Para o ano de 2016/2017, foi ainda feita a comparação do resultado estimado obtido com a média dos valores observados na 4ª amostragem recolhida que se encontra descrita no quadro 11 em 4.1.4., e cujo valor é de 11714 ± 1939 kg ha⁻¹ apresentando um desvio de 1187 kg ha⁻¹, ou seja, é inferior ao desvio padrão da produção observada.

Da observação dos resultados, pode concluir-se que esta aproximação é adequada para estimar a produção de M.S., sendo o desvio entre o valor observado e estimado menor que o desvio padrão, e variando em apenas 10 %, e portanto o valor estimado obtido para o ano de 2015/2016 deverá ser próximo do real obtido.

De referir ainda, que são conhecidos os valores do peso do feno total em toneladas, obtidos após o enfardamento pela empresa que prestou esse serviço. Esses valores ficam muito aquém (cerca de metade) tanto do que foi observado no ensaio, como do que foi estimado para os dois anos em estudo, tendo sido obtido um peso de 5210 kg ha⁻¹ para o ano de 2016/2017 e 8050 kg ha⁻¹ para o ano de 2015/2016. Esta discrepância de valores pode dever-se a vários factores sendo o principal o facto de que se está a fazer uma estimativa a partir de um peso total, que é uma média por hectare, numa área muito grande. Além disso, ao longo de uma parcela há variações na quantidade e qualidade da forragem, o que pode justificar parcialmente a variação. É necessário também ter em conta, que no processo de recolha e transporte das amostras, houve poucas perdas associadas, ao contrário do que se passa quando se corta e enfarda no campo com maquinaria onde há grandes perdas na secagem e manio, para além de neste processo ser deixado um restolho de cerca de 0,20 a 0,30 m no solo. Assim, estes valores não invalidam os resultados obtidos pelo modelo SIMDualKc conjugado com o modelo de água-produção de Stewart, sendo que a percentagem que se obteve no segundo ano em relação à obtida no primeiro é muito semelhante aos estimados pelo modelo e os obtidos na fenação. É de referir que mais estudos devem ser efectuados de modo a validar as aproximações utilizadas neste estudo para a estima da produção de biomassa.

4.6. Modelação do impacto da data de sementeira na produção e no uso da água

A partir das datas e acumulação térmica (AGDD) dos estágios de desenvolvimento observados, foi possível estimar as datas dos estágios para outras condições, nomeadamente cenários de alteração das datas de sementeira. Assim, para simular os impactos das datas de sementeira na produção de matéria seca da consociação forrageira nos anos de mais húmido (2015/2016) a mais seco (2016/2017) consideraram-se os seguintes cenários:

- Cenário 1 - Antecipa a data de sementeira uma semana em relação à data observada;
- Cenário 2 - Atrasa a data de sementeira uma semana em relação à data observada.

As datas do ciclo da cultura utilizadas nos dois cenários alternativos (Anexo III) tiveram em consideração a recomendação da Fertiprado relativa ao período de sementeira do TRITIMIX, que se estende de Outubro a Dezembro. No quadro 17 encontram-se apresentadas as simulações da produção de biomassa para os diversos cenários.

Quadro 16 – Valores de matéria seca estimadas para os diversos cenários de datas de sementeira para os dois anos em estudo.

| Valores de M.S. estimada (kg ha ⁻¹) | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|
| | Cenário 0 | Cenário 1 | Cenário 2 |
| 2016/2017 | 10527 | 11435 | 9756 |
| 2015/2016 | 15323 | 13884 | 13687 |

* M.S. = Matéria seca (kg ha⁻¹)

Os resultados permitiram concluir que no ano mais seco (2016/2017) atrasar a data de sementeira leva a maior quebra de produção do que o observado, tal é explicado pela diminuição da precipitação total ao longo do ciclo da consociação. Isto deve-se ao facto de este ano foi um ano seco e no fim do ciclo as plantas encontravam-se em grande stresse hídrico, estando a quantidade de água disponível no solo muito próxima do coeficiente de emurchecimento, situação que se manteve durante vários dias. O atraso na sementeira levou a que o corte fosse mais tardio e consequentemente a mais perdas de MS. Por outro lado, verifica-se que a antecipação na data de sementeira nas condições do ano seco potencialmente aumentaria a produção em 8 %. Tal é justificável, pois no ano em questão, os eventos de precipitação ocorreram quase sempre no Outono/Inverno e em maior quantidade, e quanto mais se antecipa a sementeira, dentro de limites razoáveis, mais a cultura poderá

usufruir desta humidade do solo, evitando também o stresse final do ciclo. Como discutido por Paredes *et al.*, (2017) para a cultura de cevada dística (*Hordeum vulgare*) em sequeiro e por Saadi *et al.*, (2015), a antecipação da data de sementeira em culturas de sequeiro constitui uma forma de mitigação em condições de seca.

No que diz respeito ao ano mais húmido (2015/2016), como era expectável, as datas simuladas não trazem vantagem em termos de produção de MS, relativamente ao cenário real, e mesmo entre elas, a produção apresenta uma variação não muito relevante. Conclui-se assim, que neste caso, o ciclo da cultura foi o adequado às condições climáticas prevalentes nesse ano.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo de balanço hídrico SIMDualKc foi ajustado e testado utilizando os valores observados em 2016/2017 do teor de água no solo (SWC), tendo mostrado uma boa precisão, com erros de estima baixos ($RMSE = 0,012 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e sem tendência para sub ou sobre estima do SWC. Assim foi possível utilizar o modelo para a simulação das condições no ano de 2015/2016.

A dinâmica do teor de água no solo, permitiu verificar os períodos de stress hídrico e o seu impacto na produção de biomassa e na composição da consociação, verificando-se que este tem maior impacto nas variedades de trevo da Pérsia e azevém, sendo bastante acentuado no caso do primeiro. A ervilhaca de cachos roxos parece ser aquela que faz melhor uso da água mesmo em condições de seca, sendo que o tritcale não revela grandes alterações.

De modo a estimar a produção da consociação, o modelo SIMDualKc foi combinado com o modelo de água-produção de Stewart, tendo os resultados obtidos mostrado uma boa aproximação da predição da produção da cultura forrageira. É recomendável que se efectuem mais estudos que possam comprovar os resultados do presente trabalho.

Verificou-se ainda, que por via das variedades presentes na consociação, serem adaptadas às condições edafoclimáticas da parcela, mesmo no ano mais seco (2016/2017), em que os eventos de precipitação foram escassos e a quantidade foi reduzida, a produção real de 5210 kg ha^{-1} obtida foi relevante e de cerca de 65 % da produção de 8050 kg ha^{-1} obtida no ano húmido (2015/2016).

Pela modelação do impacto da data de sementeira na produção, conclui-se ainda que não é muito favorável o seu atraso para o fim do Outono/início do Inverno, a fim de não submeter a cultura a stresses no final do ciclo, quando este se prolonga para o final da Primavera.

Os resultados do presente estudo mostraram a importância da investigação e do desenvolvimento de variedades de misturas biodiversas, com o objectivo de mitigação face às alterações climáticas previstas, principalmente na região do mediterrâneo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akyuz, F.A., Kandel, H., Morlock, D., 2017. Developing a growing degree day model for North Dakota and Northern Minnesota soybean. *Agricultural and Forest Meteorology* 239: 134-140.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*. 28(1): 17-34.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011a. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*. 98(6): 899-920.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011b. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*. 98(6): 921-929.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, 300 pp.
- Allen, R. G., Wright, J. L., Pruitt, W. O., Pereira, L. S., Jensen, M. E., 2007. "Water requirements", em G. J. Hoffman, R. G. Evans, M. E. Jensen, D. L. Martin, R. L. Elliot (Edição) Design and Operation of Farm Irrigation Systems (2nd Edition), ASABE, St. Joseph, MI, 208-288.
- Anandhi, A., 2016. Growing degree days – Ecosystem indicator for changing diurnal temperatures and their impact on corn growth stages in Kansas. *Ecological indicators* 61: 149-158.
- Avillez, F., Carvalho, M., 2015. "A importância de uma gestão sustentável do solo para o crescimento da agricultura portuguesa." *Cultivar* 2: 27 – 39.
- Barkaoui, K., Roumet, C., Volaire, F., 2016. Mean root trait more than root trait diversity determines drought resilience in native and cultivated Mediterranean grass mixtures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231: 122-132.
- Benyahia, F., 2017. Assessing water use and demand in the Sinistra Ofanto Irrigation District. Tese de Mestrado em Land and water resources management, IAM-Bari, Itália.
- Bernués, A., Ruiz, R., Olaizola, A., Villalba, D., Casasús, I., 2011. Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. *Livestock Science* 139: 44 - 57.
- Bucella, P., 2015. "Uso sustentável da terra na União Europeia". *Cultivar* 2: 13 - 20.
- Bulhão Martins, L., 2012. "Desafios para a agricultura e floresta portuguesas perante as alterações climáticas." *Agrotejo*: 29 – 33.
- Carneiro, J.P., Barradas, A., 2008. "Melhoria das pastagens de sequeiro". *Vida Rural* 1739: 32 – 34.

- Carranca, C., 2011. "O contributo da agricultura portuguesa para as alterações climáticas.", em L. S. Pereira, A. de Varennes, C. Oliveira e S. Ferreira-Dias (Edição) *Engenharia dos Biosistemas – Cem Temas de Investigação no Centenário do ISA*, Lisboa: Edições Colibri e CEER, 7 - 14.
- Carvalho Cardoso, J.V.J., 1965. *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese - 1- A sul do Rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa. 309 pp.
- Cary, F.C., 2004. "O projecto de Alqueva". *Espaço rural* 40: 29 - 32
- Chmelíková, L., Hejzman, M., 2012. Root system variability in common legumes in Central Europe. *Biologia*, 67(1): 116-125.
- Crespo, D.G., 1977. A producao de pastagens e forragens para o desenvolvimento da bovinicultura. Ministério da Agricultura e Pescas, Lisboa. 42 pp.
- Crespo, D.G., 1980. Discurso do Eng. Agr.º David Gomes Crespo, Presidente da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens na Sessão Inaugural da I Reunião de Primavera. *Pastagens e Forragens* 1: 5 - 9.
- Crespo, D.G., 1995. Pastagens, forragens e produção animal. Sistemas intensivos *versus* extensivos. *Pastagens e Forragens* 16: 61 – 73.
- Crespo, D.G., 2011. "Em tempos de crise qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura". *Agrotec* 1: 30-34.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., Van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J., Park, B., Peubey, C., De Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J., Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656): 553-597.
- Domínguez, A., Jiménez, M., Tarjuelo, J. M., de Juan, J. A., Martínez-Romero, A., Leite, K. N., 2012. Simulation of onion crop behavior under optimized regulated deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agricultural water management*, 113: 64-75.
- Dong, G., Guo, J., Chen, J., Sun, G., Gao, S., Hu, L., Wang, Y., 2011. Effects of spring drought on carbon sequestration, evapotranspiration and water use efficiency in the Songnen meadow steppe in northeast China. *Ecohydrology*, 4(2): 211-224.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, 193 pp.

Durand, J.L., Gonzalez-Dugo, V., Gastal, F., 2010. How much do water deficits alter the nitrogen nutrition status of forage crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2): 231-243.

Efe Serrano, J., 2006. Pastagens do Alentejo: Bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento. Universidade de Évora-ICAM, Évora. 219 pp.

Elgersma, A., & Sørensen, K. (2016). Effects of species diversity on seasonal variation in herbage yield and nutritive value of seven binary grass-legume mixtures and pure grass under cutting. *European journal of agronomy*, 78: 73-83.

Ergon, Å., Seddaiu, G., Korhonen, P., Virkajärvi, P., Bellocchi, G., Jørgensen, M., Østremf, L., Reheul, D., Voltaire, F., 2018. How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change?. *European Journal of Agronomy*, 92: 97-106.

Estrada-Campuzano, G., Slafer, G. A., Miralles, D. J., 2012. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. *Field Crops Research*, 128: 167-179.

Fertiprado: <http://www.fertiprado.pt>

Fertiprado, 2013. Reduzir os custos da alimentação animal com pastagens e forragens. Disponível em <http://www.fertiprado.pt/noticias/notas-tecnicas/reduzir-os-custos-da-alimentacao-animal-com-pastagens-e-forr/>, data de consulta a 11-10-2018.

Fertiprado, 2014. Pastagens, forragens e rentabilidade. Disponível em <http://www.fertiprado.pt/noticias/notas-tecnicas/pastagens-forragens-e-rentabilidade-/> data de consulta a 11-10-2018.

Ferreira, M. I., 2017. Stress Coefficients for Soil Water Balance Combined with Water Stress Indicators for Irrigation Scheduling of Woody Crops. *Horticulturae*, 3(2): 38.

Finn, J. A., Suter, M., Haughey, E., Hofer, D., Lüscher, A., 2018. Greater gains in annual yields from increased plant diversity than losses from experimental drought in two temperate grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258: 149-153.

Freire, J., 2011. "Técnicas fundamentais para o sucesso das pastagens e forragens", *Revista Ruminantes* 3: 44-45.

Freire, E., 2013. "O pastoreio tem de ganhar novamente o seu lugar", *Vida Rural* 1791: 26-28.

Gamas, R. M. A. A., 2017. Avaliação do valor agronómico e utilização de trevos anuais. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa. 50 pp.

- Geslain-Laneelle, C., 2015. "Solos agrícolas: um trunfo para a segurança alimentar e o clima". *Cultivar* 2: 21-26.
- Giménez, L., Paredes, P., Pereira, L. S., 2017. Water use and yield of soybean under various irrigation regimes and severe water stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc models. *Water*, 9(6): 393.
- Grant, K., Kreyling, J., Dienstbach, L. F., Beierkuhnlein, C., Jentsch, A., 2014. Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186: 11-22.
- Greenwood, K. L., Lawson, A. R., Kelly, K. B., 2009. The water balance of irrigated forages in northern Victoria, Australia. *Agricultural Water Management*, 96(5): 847-858.
- Gupta H.V., Sorooshian S., Yapo P.O. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4: 135-143.
- Hanks, R.J., 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agronomy journal*, 66: 660-664
- Hauggaard-Nielsen, H., Lachouani, P., Knudsen, M. T., Ambus, P., Boelt, B., Gislum, R., 2016. Productivity and carbon footprint of perennial grass–forage legume intercropping strategies with high or low nitrogen fertilizer input. *Science of the Total Environment*, 541: 1339-1347.
- Hertig, E., Trambly, Y., 2017. Regional downscaling of Mediterranean droughts under past and future climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 151: 36-48.
- Hu, T., Sørensen, P., Wahlström, E.M., Chirinda, N., Sharif, B., Li, X., Olesen, J. E., 2018. Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251: 141-148.
- Husse, S., Huguenin-Elie, O., Buchmann, N., Lüscher, A., 2016. Larger yields of mixtures than monocultures of cultivated grassland species match with asynchrony in shoot growth among species but not with increased light interception. *Field crops research*, 194: 1-11.
- INE, I. P., 2014. Inquérito à estrutura das explorações agrícolas 2013. Instituto Nacional de Estatística, I. P., Lisboa. 54 pp.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera: <https://www.ipma.pt/>
- Jensen, M.E., 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski TT (ed) *Water Deficit and Plant Growth*. Academic Press, New York: 1-22.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy* 18. 235-265

- Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Rosique, P., 2009. Adapting PILOTE model for water and yield management under direct seeding system: The case of corn and durum wheat in a Mediterranean context. *Agricultural water management*, 96(5): 757-770.
- Kim, D., Kaluarachchi, J., 2015. Validating FAO AquaCrop using Landsat images and regional crop information. *Agricultural Water Management*, 149: 143-155.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259–263.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., Yiakoulaki, M. D., 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3): 106-113.
- Liu, Y., Teixeira, J.L., Zhang, H.J., Pereira, L.S., 1998. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 36(3): 233-246.
- Liu, Y., Pereira, L. S., Fernando, R. M., 2006. Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agricultural Water Management*, 84(1-2): 27-40.
- Lohmann, U., Sausen, R., Bengtsson, L., Cubasch, U., Perlwitz, J., Roeckner, E. 1993. The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models. *Climate Research*, 177-193.
- Ma, A., Ahuja, Á., Nolan, Á., Bartling, Á., 2011. A protocol for parameterization and calibration of RZWQM2 in field research. *Methods of introducing system models into agricultural research*, (methodsofintrod): 1-64.
- Mäkinen, H., Kaseva, J., Virkajärvi, P., Kahiluoto, H., 2015. Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Research*, 183: 23-30.
- Malinas, A., Rotar, I., Vidican, R., Pacurar, F., 2015. Aspects Concerning Species Dynamic in a Complex Forage Mixture. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6: 58-62.
- Martins, D.S., Paulo, A. A., Pires, C., Pereira, L.S., 2017. Long-term variation of PDSI and SPI computed with reanalysis products. *European Water* 60: 271–278.
- Matesanz, S., Valladares, F., 2014. Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental botany*, 103: 53-67.
- Matocha, C.J., Karathanasis, T.D., Murdock, L.W., Grove, J.H., Goodman, J., Call, D., 2018. Influence of ryegrass on physico-chemical properties of a fragipan soil. *Geoderma*, 317: 32-38.
- Matesanz, S., Valladares, F., 2014. Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental botany*, 103: 53-67.

- Melo-Abreu, J. P., Paço, T. A., Ribeiro, A. C., Barba, N. G., Cordeiro, A. M., Neves, A., Abreu, I., Oliveira, H., Oliveira, C., Mexia, A., 2011. "Impactos das alterações climáticas na agricultura portuguesa.", em L. S. Pereira, A. de Varennes, C. Oliveira e S. Ferreira-Dias (Edição) *Engenharia dos Biosistemas – Cem Temas de Investigação no Centenário do ISA*, Lisboa: Edições Colibri e CEER, 7 - 14.
- Monteiro, A., Ribeiro, S., Vasconcelos, T., Costa, J. C., Simões, M. F., Simões, F. F., Falcão, L., Martins, C., Freire, J. B., 2014. Plantas forrageiras de pastagens de altitude. Lisboa: ISA Press, 238 pp.
- Moreira, N., 1980. Cultura de Pastagens e Forragens. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 143 pp.
- Moreira, N., 2002. Agronomia das forragens e pastagens. Vila Real: UTAD, 183 pp.
- Moreira, E. E., Mexia, J. T., Pereira, L. S., 2012. Are drought occurrence and severity aggravating? A study on SPI drought class transitions using log-linear models and ANOVA-like inference. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 3011-3028.
- Mothapo, N.V., Grossman, J.M., Maul, J.E., Shi, W., Isleib, T., 2013. Genetic diversity of resident soil rhizobia isolated from nodules of distinct hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) genotypes. *Applied soil ecology*, 64: 201-213.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *Journal of hydrology* 10(3): 282-290.
- Nogueira, C., Bugalho, M. N., Pereira, J. S., Caldeira, M. C., 2017. Extended autumn drought, but not nitrogen deposition, affects the diversity and productivity of a Mediterranean grassland. *Environmental and Experimental Botany* 138: 99-108.
- Nyfelner, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., Lüscher, A., 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2): 155-163.
- Oliveira, I., 2011. Técnicas de Regadio. Teoria e prática. Vol. I, 2ª Ed., 914 pp.
- Ordóñez-Fernández, R., de Torres, M. A. R. R., Márquez-García, J., Moreno-García, M., Carbonell-Bojollo, R. M., 2018. Legumes used as cover crops to reduce fertilisation problems improving soil nitrate in an organic orchard. *European Journal of Agronomy*, 95: 1-13.
- Paço, T. A., David, T. S., Henriques, M. O., Pereira, J. S., Valente, F., Banza, J., Pereira, F. L., Pinto, C., David, J. S., 2009. Evapotranspiration from a Mediterranean evergreen oak savannah: the role of trees and pasture. *Journal of Hydrology*, 369(1-2): 98-106.
- Paço, T. A., Ferreira, M. I., Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Conceição, N., Pacheco, C. A., Pereira, L. S., 2012. The dual crop coefficient approach using a density factor to simulate the

- evapotranspiration of a peach orchard: SIMDualKc model versus eddy covariance measurements. *Irrigation Science*, 30: 115-126.
- Paço, T. A., Paredes, P., Azevedo, E. B., Madruga, J. S., Pereira, L. S., 2016. "Ecohydrology of Graciosa semi-natural grasslands: water use and evapotranspiration partition". *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vol. 18, p. 7463.
- Paço, T. A., Pôças, I., Cunha, M., Silvestre, J. C., Santos, F. L., Paredes, P., Pereira, L. S., 2014. Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations. *Journal of Hydrology* 519: 2067 – 2080.
- Paredes, P.C.S., 2014. "Modelação "água-produção" para culturas mediterrânicas visando a produtividade da água na prática da rega", Tese de doutoramento em Engenharia dos Biosistemas. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, p. 280.
- Paredes, P., D'Agostino, D., Assif, M., Todorovic, M., Pereira, L. S., 2018a. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual K c approach. *Agricultural Water Management*, 195: 11-24.
- Paredes, P., Paço, T. A., Rosa, R. G., Pôças, I., Neves, M., Pereira, L. S., 2015a. "Avaliação do uso da água em regadio: Aplicação do modelo SIMDualKc a cevada, milho e olival", em C. A. L. Pires e L. S. Pereira (Edição) *Predictabilidade sazonal em secas. Avaliação ao nível regional e agrícola*, Lisboa: ISA Press, 245-278.
- Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Cameira, M. R., Melo-Abreu, J. P., Torres, M. O., Pereira, L. S., 2015b. "Calendários de rega para condições de seca e sua avaliação pela produtividade da água. Aplicação a cevada e milho.", em C. A. L. Pires e L. S. Pereira (Edição) *Predictabilidade sazonal em secas. Avaliação ao nível regional e agrícola*, Lisboa: ISA Press, 279-305.
- Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Pereira, L. S., 2014. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agricultural water management*, 135: 27-39.
- Paredes, P., Rodrigues, G.C., Cameira, M. R., Torres, M. O., Pereira, L.S., 2017b. Assessing yield, water productivity and farm economic returns of malt barley as influenced by the sowing dates and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management* 179: 132-143.
- Paredes, P., Rodrigues, G.J., Petry, M.T., Severo, P.O., Carlesso, R., Pereira, L.S., 2018b. Evapotranspiration Partition and Crop Coefficients of Tifton 85 Bermudagrass as Affected by the Frequency of Cuttings. Application of the FAO56 Dual Kc Model. *Water* 10: 558.

- Patanè, C., Tringali, S., Sortino, O., 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129: 590-596.
- Paulo, A. A., Rosa, R. D., Pereira, L. S., 2012. Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5): 1481-1491.
- Pereira L.S., 2017. Water, Agriculture and Food: Challenges and Issues. *Water Resour. Manage*, 31: 2985–2999.
- Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108: 39-51.
- Pereira, L. S., Cordery, I., Iacovides, I., 2009. Coping with Water Scarcity, Addressing the Challenges. Springer, Dordrecht.
- Pereira, L.S., Paredes, P., Rodrigues, G.C., Neves, M., 2015. Modeling malt barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting rainfall years. Assessing AquaCrop and SIMDualKc models. *Agricultural Water Management*, 159: 239-254.
- Pereira L.S., Teodoro P.R., Rodrigues P.N., Teixeira J.L., 2003. Irrigation Scheduling Simulation: The Model Isareg, em Rossi G., Cancelliere A., Pereira L.S., Oweis T., Shatanawi M., Zairi A. (edição) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Water Science and Technology Library, vol 44: Springer, Dordrecht, 161-180.
- Pietola, L., Alakukku, L., 2005. Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. *Agriculture, ecosystems & environment*, 108(2): 135-144.
- Piras, M., Mascaro, G., Deidda, R., Vivoni, E. R., 2016. Impacts of climate change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin. *Science of the Total Environment*, 543: 952-964.
- Popova, Z., Eneva, S., Pereira, L. S., 2006. Model validation, crop coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosystems engineering*, 95(1): 139-149.
- Potes, J.M., 2011. O Montado no Portugal Mediterrânico. Lisboa: Edições Colibri, 211 pp.
- Quaranta, G., 1999. Agricultura de sequeiro. *Lucinda: Land Care in Desertification Affected Areas*. Disponível em http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/ond/lucinda/c4_booklet_final_pt_rev2, data de consulta a 27-06-2017

- Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., Sahli, A., 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. *Agricultural water management*, 81(3): 335-357.
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Pereira, L. S. 2016. Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas. Oeiras: INIAV, I.P., 70 pp.
- Ramos, T.B., Šimůnek, J., Gonçalves, M.C., Martins, J.C., Prazeres, A., Castanheira, N.L., Pereira, L.S., 2011. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. *Journal of Hydrology*, 407(1-4): 129-144.
- Reis, D. G., Calafate, L. C., 2014. Os montados—Conciliação entre Homem e Natureza. *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos*, 4(1).
- Renato, N. S., Silva, J. B. L., Sedyama, G. C., Pereira, E. G., 2013. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(4): 382-388.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Fernando, R. M., Pereira, L. S., Allen, R. G., 2012a. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. *Agricultural Water Management* 103: 8-24.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Fernando, R. M., Alves, I., Pereira, L. S., Allen, R. G., 2012b. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 2. Model testing. *Agricultural Water Management* 103: 62-77.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Pereira, L. S., 2010. “O modelo SIMDualKc para a simulação da rega e geração de calendários de rega.”, em L. S. Pereira, J. T. Mexia, C. A. L. Pires (Edição) *Gestão do risco em secas. Métodos, tecnologias e desafios*, Lisboa: Edições Colibri e CEER, 279-300.
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C., Lionello, P., 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147, 103-115.
- Scocco, P., Piermarteri, K., Malfatti, A., Tardella, F. M., Catorci, A., 2016. Increase of drought stress negatively affects the sustainability of extensive sheep farming in sub-Mediterranean climate. *Journal of Arid Environments*, 128: 50-58.
- Sevinete Pinto, A., 2014. “As duas agriculturas”, Público online, 11 de Outubro: Disponível em <https://www.publico.pt/2014/10/11/economia/noticia/as-duas-agriculturas-1672594>, data de consulta a 08-06- 2017.

- Shengwei, Z., Rui, S., Hongbin, Z., Tingxi, L., Hongbo, S., Zichang, Z., 2015. Correlating between evapotranspiration and precipitation provides insights into Xilingol grassland eco-engineering at larger scale. *Ecological Engineering*, 84: 100-103.
- Shrestha, N., Geerts, S., Raes, D., Horemans, S., Soentjens, S., Maupas, F., Clouet, P., 2010. Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agricultural Water Management*, 97(2): 346-350.
- Sousa, M. E., Caixinhas, M. L., Forte, P., 2015. Trevos, Anafes e Luzernas. -Estudo das formas juvenis, floração e frutificação. Lisboa: Verbo. 182 pp.
- Spinoni, J., Vogt, J., Barbosa, P., 2015. European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011. *International Journal of Climatology* 35: 25-36.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66, FAO, Rome, Italy. 500 pp.
- Stewart, J.I., Hagan, R.M., Pruitt, W.O., Danielson, R.E., Franklin, W.T., Hanks, R.J., Riley, J.P., Jackson, E.B., 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Reports. Paper 67. Utah Water Research Laboratory, USA. 191 pp
- Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18: 289-307.
- Szatanik-Kloc, A., Horn, R., Lipiec, J., Siczek, A., Szerement, J., 2018. Soil compaction-induced changes of physicochemical properties of cereal roots. *Soil and Tillage Research*, 175: 226-233.
- Teixeira, J.L., Pereira, L.S., 1992. ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41(2): 29-48.
- van Diepen, C.A., Rappoldt, C., Wolf, J., van Keulen, H., 1988. Crop growth simulation model WOFOST. Documentation Version 4. I. CWFS, Amsterdam – Wageningen. 299pp.
- Vilax, E. J., 1963. La culture des plantes fourrageres dans la région méditerranéenne occidentale. Rabat: Institut National de la Recherche Agronomique, 643 pp.
- Walton, P. D., 1983. Production and management of cultivated forages. Reston Publishing Company, Inc., Reston, Virginia. 336 pp.
- White, C. M., DuPont, S. T., Hautau, M., Hartman, D., Finney, D. M., Bradley, B., LaChance J. C., Kaye, J. P., 2017. Managing the trade off between nitrogen supply and retention with cover crop mixtures. *Agriculture, ecosystems & environment*, 237: 121-133.
- Wu, Y., Liu, T., Paredes, P., Duan, L., Wang, H., Wang, T., Pereira, L. S., 2016. Ecohydrology of groundwater-dependent grasslands of the semi-arid Horqin sandy land of inner Mongolia focusing on evapotranspiration partition. *Ecohydrology* 9: 1052-1067.

- Zarea, M.J., Karimi, N., Goltapeh, E.M., Ghalavand, A., 2011. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity and root nodule nitrogenase. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(2): 109-120.
- Zhao, T., Guo, W., Fu, C., 2008. Calibrating and evaluating reanalysis surface temperature error by topographic correction. *Journal of climate* 21: 1440-1444

7. ANEXOS

Anexo I - Descrição detalhada dos solos da parcela em estudo, segundo Carvalho Cardoso (1965)

Todos os solos da parcela são solos evoluídos de perfil A Btx C, à exceção do Sb. Assim, temos que:

Solo Pm - Apresenta cor pardacenta nos horizontes A e B, é formado a partir de rochas não calcárias e foi desenvolvido sob clima mediterrâneo. Apresenta horizontes: A1 com 0.15 a 0.30 m franco-argilo-arenoso, com alguns calhaus e pedras de rocha-mãe e/ou pórfiros e pH 6.0 a 7.0; B com espessura entre 0.20 e 0.70 m argiloso ou franco-argiloso e por vezes franco-argilo-arenoso com pH 6.6 a 7.5 e C composto de material originário. Este estabelece transição para os barros.

Solo Pagn - Apresenta as mesmas características que o anterior no que diz respeito à cor e formação. Apresenta horizontes: A1 com 0.20 a 0.30 m sendo arenoso a franco-arenoso e pH entre 5.0 a 6.0; B com 0.15 a 0.60 m sendo arenoso-franco ou franco-argilo-arenoso a argiloso e pH 5.0 a 6.5 e C composto por formações detríticas. Estabelece a transição para os Solos Hidromórficos.

Solo Pv – Apresenta cor avermelhada nos horizontes A e B e é formado a partir de rochas não calcárias sob clima mediterrâneo. Apresenta horizontes: A1 com 0.15 a 0.30 m, franco-argiloso a franco e pH 5.5 a 7.0; B com 0.10 a 0.40 m sendo argiloso e de pH 5.5 a 7.0; e C composto por material originário.

Solo Vcv – Apresenta também cor avermelhada, mas é formado por rochas calcárias sob clima mediterrâneo. Apresenta horizontes: A1 semelhante ao do Pv; B com espessura de 0.15 a 0.50 m franco-argiloso a argiloso e pH 6.0 a 7.0; e o C composto por material originário.

Estes dois últimos solos descritos aparecem associados numa pequena área da parcela com Arcx (solo complexo Pv+Vcv+Arcx), devendo-se este último afloramento rochoso apresentado, à presença de uma pequena pedreira na propriedade que se encontra na parcela contígua.

Solo Sb - pertence à ordem dos Solos Incipientes, e não apresentam verdadeiros horizontes genéticos encontrando-se praticamente reduzidos ao material originário. O horizonte

superficial é um Cp podendo haver um Ap de espessura reduzida, caso em que existe pequena acumulação de matéria orgânica. A ausência de horizontes deve-se ao facto de os processos de formação do solo ainda não terem actuando tempo suficiente para provocar diferenciações. Este é um Solo de Baixas Não Calcário, porque não apresenta carbonatos no perfil. Este apresenta ainda uma baixa percentagem de matéria orgânica e medianas a elevadas razões C/N sendo os graus de saturação também altos a muito altos. A capacidade de troca catiónica encontra-se aqui relacionada com os teores de matéria orgânica e argila presentes.

Solo Ca - encontra-se associado ao referido anteriormente (solo complexo Ca+Sb), e pertence à ordem dos Solos Hidromórficos, sendo solos sujeitos a encharcamentos frequentes o que provoca intensos fenómenos de redução no mesmo. Este é um solo que não apresenta horizonte eluvial tendo sido desenvolvido em formações aluvionais. Assim, é composto por um horizonte A1 com 0.20 a 0.30 m de espessura, com textura mediana e pH entre 6.0 a 8.0, um horizonte Bg com 0.30 a 0.90 m de espessura, sendo franco-argiloso a argiloso de pH 5.5 a 6.5 e um último horizonte Cg de material originário, em geral de cor menos escura, textura mais ligeira e menor grau de estrutura que os outros horizontes.

Anexo II – Datas das recolhas de amostras de solo ao longo do ciclo cultural

Quadro 4 - Datas das recolhas de amostras de solo ao longo do ciclo da cultura.

| Data | Conjunto amostral / Dias | Data | Conjunto amostral / Dias |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| 29/10/16 | 1 / Dia 0 (Sementeira) | 06/02/17 | 13 / Dia 101 |
| 07/11/16 | 2 / Dia 9 | 16/02/17 | 14 / Dia 111 |
| 15/11/16 | 3 / Dia 17 | 24/02/17 | 15 / Dia 119 |
| 21/11/16 | 4 / Dia 24 | 01/03/17 | 16 / Dia 124 |
| 28/11/16 | 5 / Dia 31 | 10/03/17 | 17 / Dia 133 |
| 06/12/16 | 6 / Dia 39 | 18/03/17 | 18 / Dia 141 |
| 13/12/16 | 7 / Dia 46 | 29/03/17 | 19 / Dia 152 |
| 23/12/16 | 8 / Dia 56 | 05/04/17 | 20 / Dia 159 |
| 26/12/16 | 9 / Dia 59 | 13/04/17 | 21 / Dia 167 |
| 02/01/17 | 10 / Dia 66 | 20/04/17 | 22 / Dia 174* |
| 10/01/17 | 11 / Dia 74 | 07/05/17 | 23 / Dia 191 (Corte) |
| 24/01/17 | 12 / Dia 88 | | |

* Amostra eliminada do ensaio.

ANEXO III – Fases do ciclo de acumulação térmica para os anos agrícolas em estudo, na simulação de diferentes datas de sementeira

Quadro 17 – Fases do ciclo de acumulação térmica para os anos de 2015/2015 e 2016/2017, e na simulação de diferentes datas de sementeira.

| | | Sementeira | Início do período de crescimento rápido | Início do período intermédio | Início do período final/ senescência | Colheita |
|--------------------------------------|-----------|------------|---|------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Referência (a partir de observações) | Data | 29/10/2016 | 21/11/2016 | 16/02/2017 | 20/04/2017 | 07/05/2017 |
| | AGDD (°C) | --- | 214,9 | 615,5 | 1173,15 | 1369,5 |
| 2016/2017 | Data | 28/10/2015 | 17/11/2015 | 22/01/2016 | 20/04/2016 | 24/05/2016 |
| Antecipação da data de sementeira | Data | 23/10/2016 | 12/11/2016 | 03/02/2017 | 15/04/2017 | 01/05/2017 |
| | Data | 21/10/2015 | 10/11/2015 | 08/01/2016 | 12/04/2016 | 02/05/2016 |
| Atraso na data de sementeira | Data | 05/11/2016 | 06/12/2016 | 02/03/2017 | 28/04/2017 | 12/05/2017 |
| | Data | 04/11/2015 | 29/11/2015 | 02/02/2016 | 27/04/2016 | 16/05/2016 |

* AGDD é o índice de graus-dia de crescimento (°C)

ANEXO IV - Dados observados e simulados pelo modelo no ano de 2016/2017

| Date | ET _o (mm) | K _{cb} | K _s | K _{cb act} | K _{c act} | K _e | ET _{act} (mm) | E _s (mm) | T _{c act} (mm) | SWC _{sim} (cm ³ cm ⁻³) | SWC _{obs} (cm ³ cm ⁻³) |
|----------|----------------------|-----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|------------------------|---------------------|-------------------------|--|--|
| 29/10/16 | 2,48 | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 1,20 | 1,05 | 2,97 | 2,61 | 0,37 | 0,24 | 0,21 |
| 30/10/16 | 2,23 | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 1,21 | 1,06 | 2,71 | 2,37 | 0,33 | 0,23 | |
| 31/10/16 | 2,05 | 0,15 | 0,74 | 0,11 | 1,17 | 1,06 | 2,41 | 2,18 | 0,23 | 0,23 | |
| 01/11/16 | 2,17 | 0,15 | 0,35 | 0,05 | 1,14 | 1,09 | 2,48 | 2,37 | 0,12 | 0,22 | |
| 02/11/16 | 1,77 | 0,15 | 0,13 | 0,02 | 0,82 | 0,80 | 1,45 | 1,42 | 0,04 | 0,22 | |
| 03/11/16 | 1,72 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,59 | 0,59 | 1,02 | 1,02 | 0,00 | 0,22 | |
| 04/11/16 | 1,38 | 0,15 | 0,10 | 0,02 | 0,69 | 0,68 | 0,96 | 0,94 | 0,02 | 0,22 | |
| 05/11/16 | 1,17 | 0,15 | 0,77 | 0,12 | 1,25 | 1,13 | 1,46 | 1,32 | 0,14 | 0,23 | |
| 06/11/16 | 1,80 | 0,15 | 0,44 | 0,07 | 1,16 | 1,09 | 2,08 | 1,97 | 0,12 | 0,22 | |
| 07/11/16 | 1,70 | 0,15 | 0,21 | 0,03 | 0,86 | 0,82 | 1,46 | 1,40 | 0,06 | 0,22 | 0,23 |
| 08/11/16 | 1,22 | 0,15 | 0,11 | 0,02 | 0,62 | 0,60 | 0,76 | 0,74 | 0,02 | 0,22 | |
| 09/11/16 | 1,41 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,48 | 0,48 | 0,68 | 0,67 | 0,00 | 0,22 | |
| 10/11/16 | 1,57 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,38 | 0,59 | 0,59 | 0,00 | 0,22 | |
| 11/11/16 | 0,91 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | 0,28 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,22 | |
| 12/11/16 | 0,89 | 0,15 | 0,03 | 0,00 | 0,33 | 0,32 | 0,29 | 0,29 | 0,00 | 0,22 | |
| 13/11/16 | 1,65 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,29 | 0,47 | 0,47 | 0,00 | 0,22 | |
| 14/11/16 | 1,95 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,21 | 0,21 | 0,41 | 0,41 | 0,00 | 0,22 | |
| 15/11/16 | 2,09 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,15 | 0,30 | 0,30 | 0,00 | 0,22 | 0,20 |
| 16/11/16 | 0,91 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,00 | 0,21 | |
| 17/11/16 | 0,94 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 0,21 | |
| 18/11/16 | 0,97 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | 0,21 | |
| 19/11/16 | 1,05 | 0,15 | 0,21 | 0,03 | 0,37 | 0,33 | 0,39 | 0,35 | 0,03 | 0,22 | |
| 20/11/16 | 0,87 | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 1,18 | 1,03 | 1,03 | 0,90 | 0,13 | 0,27 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 21/11/16 | 1,48 | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 1,19 | 1,04 | 1,77 | 1,54 | 0,22 | 0,29 | 0,29 |
| 22/11/16 | 0,69 | 0,16 | 1,00 | 0,16 | 1,15 | 1,00 | 0,79 | 0,68 | 0,11 | 0,29 | |
| 23/11/16 | 1,01 | 0,17 | 1,00 | 0,17 | 1,18 | 1,01 | 1,19 | 1,02 | 0,17 | 0,28 | |
| 24/11/16 | 1,08 | 0,18 | 1,00 | 0,18 | 1,19 | 1,01 | 1,29 | 1,09 | 0,19 | 0,28 | |
| 25/11/16 | 1,65 | 0,19 | 1,00 | 0,19 | 1,20 | 1,02 | 1,99 | 1,68 | 0,31 | 0,29 | |
| 26/11/16 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,20 | 1,17 | 0,97 | 1,17 | 0,97 | 0,20 | 0,29 | |
| 27/11/16 | 1,01 | 0,21 | 1,00 | 0,21 | 1,17 | 0,96 | 1,18 | 0,97 | 0,21 | 0,28 | |
| 28/11/16 | 0,66 | 0,21 | 1,00 | 0,21 | 1,16 | 0,94 | 0,76 | 0,62 | 0,14 | 0,28 | 0,29 |
| 29/11/16 | 1,09 | 0,22 | 1,00 | 0,22 | 1,17 | 0,95 | 1,28 | 1,04 | 0,24 | 0,28 | |
| 30/11/16 | 1,85 | 0,23 | 1,00 | 0,23 | 1,20 | 0,97 | 2,23 | 1,80 | 0,43 | 0,27 | |
| 01/12/16 | 1,04 | 0,24 | 1,00 | 0,24 | 1,16 | 0,91 | 1,20 | 0,95 | 0,25 | 0,29 | |
| 02/12/16 | 0,72 | 0,25 | 1,00 | 0,25 | 1,12 | 0,87 | 0,81 | 0,62 | 0,18 | 0,28 | |
| 03/12/16 | 1,00 | 0,26 | 1,00 | 0,26 | 1,15 | 0,89 | 1,15 | 0,89 | 0,26 | 0,29 | |
| 04/12/16 | 1,36 | 0,27 | 1,00 | 0,27 | 1,17 | 0,90 | 1,59 | 1,22 | 0,37 | 0,28 | |
| 05/12/16 | 1,45 | 0,28 | 1,00 | 0,28 | 1,18 | 0,90 | 1,71 | 1,30 | 0,40 | 0,28 | |
| 06/12/16 | 1,05 | 0,29 | 1,00 | 0,29 | 1,16 | 0,90 | 1,22 | 0,91 | 0,30 | 0,28 | 0,27 |
| 07/12/16 | 0,97 | 0,30 | 1,00 | 0,30 | 1,15 | 0,86 | 1,12 | 0,83 | 0,29 | 0,27 | |
| 08/12/16 | 1,21 | 0,31 | 1,00 | 0,31 | 1,16 | 0,86 | 1,41 | 1,04 | 0,37 | 0,27 | |
| 09/12/16 | 1,62 | 0,32 | 1,00 | 0,32 | 1,17 | 0,86 | 1,90 | 1,39 | 0,51 | 0,27 | |
| 10/12/16 | 0,90 | 0,33 | 1,00 | 0,33 | 1,04 | 0,72 | 0,94 | 0,64 | 0,29 | 0,27 | |
| 11/12/16 | 0,86 | 0,33 | 1,00 | 0,33 | 0,94 | 0,61 | 0,81 | 0,52 | 0,29 | 0,26 | |
| 12/12/16 | 0,58 | 0,34 | 1,00 | 0,34 | 0,86 | 0,52 | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,26 | |
| 13/12/16 | 0,63 | 0,35 | 1,00 | 0,35 | 0,79 | 0,43 | 0,50 | 0,27 | 0,22 | 0,26 | 0,25 |
| 14/12/16 | 1,22 | 0,36 | 1,00 | 0,36 | 1,15 | 0,79 | 1,40 | 0,96 | 0,44 | 0,27 | |
| 15/12/16 | 0,64 | 0,37 | 1,00 | 0,37 | 1,11 | 0,74 | 0,71 | 0,47 | 0,24 | 0,29 | |
| 16/12/16 | 1,14 | 0,38 | 1,00 | 0,38 | 1,14 | 0,76 | 1,30 | 0,87 | 0,43 | 0,29 | |
| 17/12/16 | 1,74 | 0,39 | 1,00 | 0,39 | 1,15 | 0,77 | 2,01 | 1,33 | 0,68 | 0,28 | |
| 18/12/16 | 1,75 | 0,40 | 1,00 | 0,40 | 1,16 | 0,76 | 2,03 | 1,33 | 0,70 | 0,28 | |
| 19/12/16 | 1,26 | 0,41 | 1,00 | 0,41 | 1,15 | 0,74 | 1,45 | 0,94 | 0,51 | 0,27 | |
| 20/12/16 | 0,44 | 0,42 | 1,00 | 0,42 | 1,13 | 0,71 | 0,50 | 0,31 | 0,18 | 0,27 | |
| 21/12/16 | 0,41 | 0,43 | 1,00 | 0,43 | 1,12 | 0,69 | 0,46 | 0,28 | 0,17 | 0,27 | |
| 22/12/16 | 0,56 | 0,44 | 1,00 | 0,44 | 1,11 | 0,68 | 0,62 | 0,38 | 0,24 | 0,27 | |
| 23/12/16 | 0,69 | 0,44 | 1,00 | 0,44 | 1,07 | 0,62 | 0,74 | 0,43 | 0,31 | 0,27 | 0,26 |
| 24/12/16 | 0,87 | 0,45 | 1,00 | 0,45 | 1,00 | 0,55 | 0,87 | 0,48 | 0,39 | 0,27 | |
| 25/12/16 | 0,98 | 0,46 | 1,00 | 0,46 | 0,92 | 0,46 | 0,90 | 0,45 | 0,45 | 0,26 | |
| 26/12/16 | 0,97 | 0,47 | 1,00 | 0,47 | 0,84 | 0,37 | 0,82 | 0,36 | 0,46 | 0,26 | 0,27 |
| 27/12/16 | 1,05 | 0,48 | 1,00 | 0,48 | 0,79 | 0,31 | 0,83 | 0,33 | 0,51 | 0,26 | |
| 28/12/16 | 1,10 | 0,49 | 1,00 | 0,49 | 0,73 | 0,24 | 0,81 | 0,27 | 0,54 | 0,26 | |
| 29/12/16 | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,69 | 0,19 | 0,69 | 0,19 | 0,50 | 0,26 | |
| 30/12/16 | 1,10 | 0,51 | 1,00 | 0,51 | 0,66 | 0,15 | 0,73 | 0,17 | 0,56 | 0,26 | |
| 31/12/16 | 0,94 | 0,52 | 1,00 | 0,52 | 0,64 | 0,12 | 0,60 | 0,11 | 0,49 | 0,26 | |
| 01/01/17 | 0,74 | 0,53 | 1,00 | 0,53 | 0,61 | 0,09 | 0,46 | 0,07 | 0,39 | 0,25 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 02/01/17 | 1,40 | 0,54 | 1,00 | 0,54 | 0,62 | 0,08 | 0,87 | 0,11 | 0,75 | 0,25 | 0,24 |
| 03/01/17 | 0,95 | 0,55 | 1,00 | 0,55 | 0,60 | 0,06 | 0,57 | 0,05 | 0,52 | 0,25 | |
| 04/01/17 | 0,70 | 0,56 | 1,00 | 0,56 | 0,60 | 0,04 | 0,42 | 0,03 | 0,39 | 0,25 | |
| 05/01/17 | 0,51 | 0,56 | 1,00 | 0,56 | 0,60 | 0,03 | 0,30 | 0,02 | 0,29 | 0,25 | |
| 06/01/17 | 1,00 | 0,57 | 1,00 | 0,57 | 0,61 | 0,04 | 0,61 | 0,04 | 0,57 | 0,25 | |
| 07/01/17 | 0,96 | 0,58 | 1,00 | 0,58 | 0,61 | 0,03 | 0,59 | 0,03 | 0,56 | 0,25 | |
| 08/01/17 | 0,80 | 0,59 | 1,00 | 0,59 | 0,61 | 0,02 | 0,49 | 0,02 | 0,47 | 0,25 | |
| 09/01/17 | 0,66 | 0,60 | 1,00 | 0,60 | 0,62 | 0,02 | 0,41 | 0,01 | 0,40 | 0,25 | |
| 10/01/17 | 1,29 | 0,61 | 1,00 | 0,61 | 0,77 | 0,16 | 0,99 | 0,20 | 0,79 | 0,25 | 0,26 |
| 11/01/17 | 1,18 | 0,62 | 1,00 | 0,62 | 0,74 | 0,12 | 0,87 | 0,14 | 0,73 | 0,25 | |
| 12/01/17 | 0,77 | 0,63 | 1,00 | 0,63 | 0,71 | 0,08 | 0,54 | 0,06 | 0,48 | 0,25 | |
| 13/01/17 | 1,54 | 0,64 | 1,00 | 0,64 | 0,71 | 0,08 | 1,10 | 0,12 | 0,98 | 0,24 | |
| 14/01/17 | 1,28 | 0,65 | 1,00 | 0,65 | 0,69 | 0,05 | 0,89 | 0,06 | 0,83 | 0,24 | |
| 15/01/17 | 0,92 | 0,66 | 1,00 | 0,66 | 0,69 | 0,03 | 0,63 | 0,03 | 0,60 | 0,24 | |
| 16/01/17 | 0,83 | 0,67 | 1,00 | 0,67 | 0,69 | 0,02 | 0,57 | 0,02 | 0,55 | 0,24 | |
| 17/01/17 | 1,04 | 0,67 | 1,00 | 0,67 | 0,69 | 0,02 | 0,72 | 0,02 | 0,70 | 0,24 | |
| 18/01/17 | 1,73 | 0,69 | 0,99 | 0,67 | 0,69 | 0,02 | 1,19 | 0,03 | 1,17 | 0,24 | |
| 19/01/17 | 1,27 | 0,70 | 0,94 | 0,65 | 0,66 | 0,01 | 0,83 | 0,01 | 0,82 | 0,23 | |
| 20/01/17 | 0,98 | 0,70 | 0,90 | 0,63 | 0,64 | 0,01 | 0,62 | 0,00 | 0,62 | 0,23 | |
| 21/01/17 | 0,88 | 0,71 | 0,87 | 0,62 | 0,63 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,55 | 0,23 | |
| 22/01/17 | 0,97 | 0,72 | 0,84 | 0,61 | 0,61 | 0,00 | 0,59 | 0,00 | 0,59 | 0,23 | |
| 23/01/17 | 1,25 | 0,73 | 0,80 | 0,58 | 0,59 | 0,00 | 0,73 | 0,00 | 0,73 | 0,23 | |
| 24/01/17 | 0,83 | 0,74 | 0,78 | 0,58 | 0,58 | 0,00 | 0,48 | 0,00 | 0,48 | 0,23 | 0,21 |
| 25/01/17 | 0,83 | 0,75 | 0,76 | 0,57 | 0,57 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 0,47 | 0,23 | |
| 26/01/17 | 0,77 | 0,76 | 1,00 | 0,76 | 1,01 | 0,25 | 0,78 | 0,19 | 0,58 | 0,25 | |
| 27/01/17 | 1,18 | 0,77 | 1,00 | 0,77 | 1,02 | 0,25 | 1,20 | 0,30 | 0,90 | 0,26 | |
| 28/01/17 | 0,94 | 0,78 | 1,00 | 0,78 | 1,01 | 0,24 | 0,95 | 0,22 | 0,73 | 0,26 | |
| 29/01/17 | 1,22 | 0,78 | 1,00 | 0,78 | 1,01 | 0,22 | 1,23 | 0,27 | 0,96 | 0,26 | |
| 30/01/17 | 1,28 | 0,79 | 1,00 | 0,79 | 1,01 | 0,22 | 1,29 | 0,28 | 1,02 | 0,26 | |
| 31/01/17 | 1,19 | 0,80 | 1,00 | 0,80 | 1,00 | 0,20 | 1,20 | 0,24 | 0,96 | 0,26 | |
| 01/02/17 | 1,61 | 0,81 | 1,00 | 0,81 | 1,00 | 0,20 | 1,62 | 0,32 | 1,31 | 0,26 | |
| 02/02/17 | 1,72 | 0,82 | 1,00 | 0,82 | 1,00 | 0,18 | 1,73 | 0,32 | 1,41 | 0,26 | |
| 03/02/17 | 1,56 | 0,83 | 1,00 | 0,83 | 1,10 | 0,17 | 1,56 | 0,26 | 1,29 | 0,26 | |
| 04/02/17 | 1,51 | 0,84 | 1,00 | 0,84 | 1,00 | 0,16 | 1,50 | 0,24 | 1,27 | 0,25 | |
| 05/02/17 | 2,35 | 0,85 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | 0,15 | 2,36 | 0,36 | 1,99 | 0,28 | |
| 06/02/17 | 1,58 | 0,86 | 1,00 | 0,86 | 0,99 | 0,14 | 1,57 | 0,21 | 1,36 | 0,27 | 0,28 |
| 07/02/17 | 1,89 | 0,87 | 1,00 | 0,87 | 0,99 | 0,13 | 1,88 | 0,24 | 1,64 | 0,27 | |
| 08/02/17 | 1,49 | 0,88 | 1,00 | 0,88 | 0,99 | 0,11 | 1,48 | 0,17 | 1,31 | 0,27 | |
| 09/02/17 | 1,63 | 0,89 | 1,00 | 0,89 | 0,99 | 0,10 | 1,61 | 0,16 | 1,44 | 0,26 | |
| 10/02/17 | 0,97 | 0,90 | 1,00 | 0,90 | 0,98 | 0,08 | 0,95 | 0,08 | 0,87 | 0,26 | |
| 11/02/17 | 1,48 | 0,904 | 1,00 | 0,90 | 0,98 | 0,07 | 1,45 | 0,11 | 1,34 | 0,26 | |
| 12/02/17 | 1,60 | 0,91 | 1,00 | 0,91 | 0,95 | 0,03 | 1,51 | 0,05 | 1,46 | 0,25 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13/02/17 | 1,79 | 0,92 | 1,00 | 0,92 | 0,92 | 0,00 | 1,65 | 0,00 | 1,65 | 0,25 | |
| 14/02/17 | 1,81 | 0,93 | 1,00 | 0,93 | 0,97 | 0,04 | 1,75 | 0,07 | 1,69 | 0,27 | |
| 15/02/17 | 1,85 | 0,94 | 1,00 | 0,94 | 0,97 | 0,03 | 1,79 | 0,05 | 1,74 | 0,32 | |
| 16/02/17 | 2,22 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,96 | 0,01 | 2,14 | 0,03 | 2,11 | 0,29 | 0,29 |
| 17/02/17 | 1,74 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,96 | 0,01 | 1,68 | 0,02 | 1,65 | 0,28 | |
| 18/02/17 | 1,42 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,96 | 0,01 | 1,37 | 0,02 | 1,35 | 0,28 | |
| 19/02/17 | 2,28 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,97 | 0,02 | 2,20 | 0,04 | 2,17 | 0,27 | |
| 20/02/17 | 2,80 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,97 | 0,02 | 2,71 | 0,05 | 2,66 | 0,27 | |
| 21/02/17 | 2,28 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 2,17 | 0,00 | 2,17 | 0,26 | |
| 22/02/17 | 2,28 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 2,17 | 0,00 | 2,17 | 0,26 | |
| 23/02/17 | 1,64 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,56 | 0,00 | 1,56 | 0,26 | |
| 24/02/17 | 1,98 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,88 | 0,00 | 1,88 | 0,25 | 0,26 |
| 25/02/17 | 1,77 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,68 | 0,00 | 1,68 | 0,25 | |
| 26/02/17 | 2,06 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,96 | 0,00 | 1,96 | 0,25 | |
| 27/02/17 | 1,29 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,23 | 0,00 | 1,23 | 0,24 | |
| 28/02/17 | 1,61 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,97 | 0,02 | 1,57 | 0,04 | 1,53 | 0,24 | |
| 01/03/17 | 1,29 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,23 | 0,00 | 1,23 | 0,24 | 0,24 |
| 02/03/17 | 1,80 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,71 | 0,00 | 1,71 | 0,24 | |
| 03/03/17 | 1,44 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,37 | 0,00 | 1,37 | 0,23 | |
| 04/03/17 | 1,53 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,50 | 0,00 | 1,45 | 0,23 | |
| 05/03/17 | 1,62 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,54 | 0,00 | 1,54 | 0,23 | |
| 06/03/17 | 1,57 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 1,49 | 0,00 | 1,49 | 0,23 | |
| 07/03/17 | 2,41 | 0,95 | 0,98 | 0,93 | 0,94 | 0,00 | 2,25 | 0,00 | 2,25 | 0,22 | |
| 08/03/17 | 2,96 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,98 | 0,03 | 2,90 | 0,09 | 2,81 | 0,26 | |
| 09/03/17 | 3,49 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,98 | 0,03 | 3,42 | 0,10 | 3,31 | 0,25 | |
| 10/03/17 | 3,06 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,98 | 0,03 | 3,00 | 0,09 | 2,91 | 0,24 | 0,23 |
| 11/03/17 | 2,85 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,98 | 0,03 | 2,80 | 0,09 | 2,71 | 0,24 | |
| 12/03/17 | 3,82 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 3,63 | 0,00 | 3,63 | 0,23 | |
| 13/03/17 | 4,23 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 4,02 | 0,00 | 4,02 | 0,22 | |
| 14/03/17 | 2,99 | 0,95 | 0,87 | 0,83 | 0,83 | 0,00 | 2,48 | 0,00 | 2,48 | 0,22 | |
| 15/03/17 | 4,18 | 0,95 | 0,66 | 0,62 | 0,62 | 0,00 | 2,61 | 0,00 | 2,61 | 0,21 | |
| 16/03/17 | 3,38 | 0,95 | 0,55 | 0,52 | 0,52 | 0,00 | 1,76 | 0,00 | 1,76 | 0,21 | |
| 17/03/17 | 2,76 | 0,95 | 0,48 | 0,45 | 0,45 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 1,25 | 0,21 | |
| 18/03/17 | 3,31 | 0,95 | 0,37 | 0,35 | 0,35 | 0,00 | 1,17 | 0,00 | 1,17 | 0,20 | 0,21 |
| 19/03/17 | 3,32 | 0,95 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,00 | 0,95 | 0,00 | 0,95 | 0,20 | |
| 20/03/17 | 2,89 | 0,95 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,00 | 0,78 | 0,00 | 0,74 | 0,20 | |
| 21/03/17 | 2,73 | 0,95 | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,00 | 0,61 | 0,00 | 0,61 | 0,20 | |
| 22/03/17 | 2,48 | 0,95 | 0,37 | 0,35 | 0,39 | 0,04 | 0,98 | 0,10 | 0,88 | 0,20 | |
| 23/03/17 | 2,26 | 0,95 | 0,46 | 0,44 | 0,48 | 0,04 | 1,08 | 0,09 | 0,99 | 0,21 | |
| 24/03/17 | 1,94 | 0,95 | 0,59 | 0,56 | 0,60 | 0,04 | 1,16 | 0,08 | 1,08 | 0,21 | |
| 25/03/17 | 3,12 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,04 | 3,10 | 0,13 | 2,96 | 0,24 | |
| 26/03/17 | 1,04 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,04 | 1,03 | 0,04 | 0,99 | 0,27 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 27/03/17 | 2,34 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,04 | 2,32 | 0,10 | 2,22 | 0,27 | |
| 28/03/17 | 2,71 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,04 | 2,69 | 0,12 | 2,57 | 0,27 | |
| 29/03/17 | 3,48 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,05 | 3,46 | 0,16 | 3,31 | 0,26 | 0,28 |
| 30/03/17 | 3,38 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,05 | 3,37 | 0,16 | 3,21 | 0,25 | |
| 31/03/17 | 3,64 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 3,46 | 0,00 | 3,46 | 0,24 | |
| 01/04/17 | 3,48 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 3,31 | 0,00 | 3,31 | 0,24 | |
| 02/04/17 | 3,58 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 3,40 | 0,00 | 3,40 | 0,23 | |
| 03/04/17 | 3,78 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 0,00 | 3,59 | 0,00 | 3,60 | 0,22 | |
| 04/04/17 | 3,76 | 0,95 | 0,87 | 0,82 | 0,82 | 0,00 | 3,09 | 0,00 | 3,09 | 0,22 | |
| 05/04/17 | 4,58 | 0,95 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,00 | 2,76 | 0,00 | 2,76 | 0,21 | 0,23 |
| 06/04/17 | 4,55 | 0,95 | 0,47 | 0,45 | 0,45 | 0,00 | 2,03 | 0,00 | 2,04 | 0,21 | |
| 07/04/17 | 4,08 | 0,95 | 0,38 | 0,36 | 0,36 | 0,00 | 1,46 | 0,00 | 1,46 | 0,20 | |
| 08/04/17 | 4,03 | 0,95 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,00 | 1,12 | 0,00 | 1,12 | 0,20 | |
| 09/04/17 | 4,67 | 0,95 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,84 | 0,00 | 0,84 | 0,20 | |
| 10/04/17 | 4,74 | 0,95 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,00 | 0,61 | 0,00 | 0,61 | 0,20 | |
| 11/04/17 | 4,00 | 0,95 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,00 | 0,54 | 0,00 | 0,54 | 0,20 | |
| 12/04/17 | 4,36 | 0,95 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,00 | 0,37 | 0,00 | 0,36 | 0,20 | |
| 13/04/17 | 4,44 | 0,95 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,26 | 0,20 | 0,20 |
| 14/04/17 | 4,56 | 0,95 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,17 | 0,00 | 0,17 | 0,20 | |
| 15/04/17 | 4,28 | 0,95 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,18 | 0,20 | |
| 16/04/17 | 4,24 | 0,95 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,15 | 0,20 | |
| 17/04/17 | 4,15 | 0,95 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,13 | 0,20 | |
| 18/04/17 | 3,39 | 0,95 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,00 | 0,22 | 0,00 | 0,22 | 0,20 | |
| 19/04/17 | 5,73 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | |
| 20/04/17 | 5,42 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | |
| 21/04/17 | 6,10 | 0,93 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | |
| 22/04/17 | 4,42 | 0,90 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,20 | |
| 23/04/17 | 4,10 | 0,88 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,11 | 0,20 | |
| 24/04/17 | 4,56 | 0,86 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,20 | |
| 25/04/17 | 3,98 | 0,83 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,13 | 0,20 | |
| 26/04/17 | 3,68 | 0,81 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 0,15 | 0,20 | |
| 27/04/17 | 5,04 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | |
| 28/04/17 | 4,89 | 0,76 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | |
| 29/04/17 | 4,02 | 0,74 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,13 | 0,20 | |
| 30/04/17 | 3,38 | 0,72 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,17 | 0,00 | 0,16 | 0,19 | |
| 01/05/17 | 4,45 | 0,69 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,06 | 0,19 | |
| 02/05/17 | 4,64 | 0,67 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,04 | 0,19 | |
| 03/05/17 | 5,48 | 0,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | |
| 04/05/17 | 4,87 | 0,62 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,19 | |
| 05/05/17 | 4,08 | 0,60 | 0,09 | 0,06 | 0,29 | 0,23 | 1,17 | 0,94 | 0,23 | 0,20 | |
| 06/05/17 | 3,70 | 0,57 | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 0,21 | 0,20 | |
| 07/05/17 | 5,35 | 0,55 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,11 | 0,19 | 0,19 |

ANEXO V – Evolução da consociação forrageira em imagens



V. 1 - 9 dias após sementeira (07/11/16)



V. 2 - 9 dias após sementeira (07/11/16)



V. 3 - 17 dias após sementeira (15/11/16)



V. 4 - 17 dias após sementeira (15/11/16)



V. 5 - 24 dias após sementeira (21/11/16)



V. 6 - 24 dias após sementeira (21/11/16)



V. 7 - 31 dias após sementeira (28/11/16)



V. 8 - 31 dias após sementeira (28/11/16)



V. 9 - 39 dias após sementeira (06/12/16)



V. 10 - 39 dias após sementeira (06/12/16)



V. 11 - 46 dias após sementeira (13/12/16)



V. 12 - 56 dias após sementeira (23/12/16)



V. 13 - 56 dias após sementeira – Nódulos de *Rhizobium* prontos para processo de fixação (23/12/16)



V. 14 - 66 dias após sementeira (02/01/17)



V. 15 - 74 dias após sementeira (10/01/17)



V. 16 - 74 dias após sementeira (10/01/17)



V. 17 - 88 dias após sementeira (24/01/17)



V. 18 - 101 dias após sementeira (06/02/17)



V. 19 - 111 dias após sementeira (16/02/17)



V. 20 - 111 dias após sementeira (16/02/17)



V. 21 - 119 dias após sementeira (24/02/17)



V. 22 - 119 dias após sementeira (24/02/17)



V. 23 - 124 dias após sementeira (01/03/17)



V. 24 - 133 dias após sementeira (10/03/17)



V. 25 - 141 dias após sementeira (18/03/17)



V. 26 - 151 dias após sementeira (29/03/17)



V. 27 - 159 dias após sementeira (05/04/17)



V. 28 - 159 dias após sementeira (05/04/17)



V. 29 - 167 dias após sementeira (13/04/17)



V. 30 - 174 dias após sementeira (20/04/17)



V. 31 - 174 dias após sementeira (20/04/17)



V. 32 - 174 dias após sementeira (20/04/17)



V. 33 - 191 dias após sementeira /corte (07/05/17)



V. 34 - 191 dias após sementeira – corte (07/05/17)